B 7922 F

Heft 4 Seite 139-186 3. Jahrgang August 1961

R. Oldenbourg München und Wien

Postverlagsort München

ER

Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft Wirtschaft und Verwaltung



Elektronische Großrechenanlage IBM 7070 bei der Bundesbahndirektion Frankfurt

NEUE 

25-AMP DAP TRANSISTOREN

SCHALTEN IN MIKROSEKUNDEN



Die neuen Bendix® DAP (Diffused Alloy Power®) Transistoren öffnen der Entwicklung neue Wege und erschließen neue Anwendungsgebiete. Ein Grund hierfür ist ihr mikrosekunden-schnelles Schalten bei höheren Stromstärken (typisches Beispiel 5 sec. bei 25 AMP).
Sie ermöglichen außerdem eine höhere Stabilität der Stromkreise und arbeiten über einem höheren Temperaturbereich (von —60° C bis +110° C). Sie arbeiten mit höherer Kollektor-Spitzenspannung (bis zu 120 V) und haben einen geringeren Eingangswiderstand, garantierten statischen Stromverstärkungsbereich und niedrige Kollektor-Restspannung.

DAP® Diffusions-Transistoren

	MAXIMALE NENNWERTE								TYPISCHE BETRIEBSWERTE		
TYPEN NR.	Gehäuse Typ	-Uce V	-Ucb V	-Icmax A	Nv W	Tmax °C	T Lager von	T Lager bis	Stat. Stromverst. B	Ic in A	fα MHZ
2N1073	A	40	40	10	60	110	—65°C	+110°C	40	5,0	1,5
2N1073A	A	80	80	10	60	110	—65	+110	40	5,0	1,5
2N1073B	A	120	120	10	60	110	—65	+110	40	5,0	1,5
2N1651	A	60	60	25	100	110	—65	+110	30	25,0	2,0
2N1652	A	100	100	25	100	110	—65	+110	30	25,0	2,0
2N1653	A	120	120	25	100	110	—65	+110	30	25,0	2,0



Fordern Sie alle Details über DAP-Transistoren sowie über die vollständige Reihe unserer Transistoren hoher und mittlerer Leistung sowie der Gleichrichter an. Verlangen Sie den BENDIX SEMICONDUCTOR CATALOG

Bendix Halbleiter bieten Ihnen Exta-Qualität zu normalen Preisen.



Bendix International DIVISION



205 E. 42ND ST., NEW YORK 17, N.Y., U. S. A. CABLE ADDRESS: "BENDIXINT," N. Y.


Halbleiter
Silizium
Spitzendioden
Flächendioden
Zenerdioden
Mittlerer Leistungsgleichrichter
Leistungsgleichrichter
HF-ZF Transistoren
Gesteuerte Gleichrichter
Unijonctiontransistoren
Photodioden
Germanium
Spitzendioden
Schaltdioden Allzweckdioden
ZF-NF Transistoren
Schalttransistoren
Leistungstransistoren
HF Transistoren
M. RIDART - PARIS
Halbleiter
Abteilung
THOMSON HOUSTON
41, RUE DE L'AMIRAL MOUCHEZ, PARIS 13e - TÉL. POR. 32-74 & 37-00
VERTRETER - MCP - Königstraße 101, 105 LÜBECK Tel.: 23536
SEMIKRON - Richard-Wagner-Straße 68 - PLANEGG - MÜNCHEN Tel. 89789



Im Blickpunkt:
Elektronische Datenverarbeitung

A 23

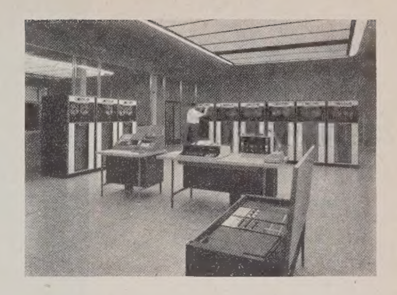
Das Bild des Unternehmens formt sich aus zahlreichen Einzeldaten. Ihre systematische Erfassung und Auswertung sind entscheidend für alle künftigen Planungen. Aus der statistischen Vergangenheitsrechnung entwickelt sich die Strategie der modernen Betriebsführung, die fundierte Argumente an die Stelle von Improvisationen setzt.
Wo Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung dieses Ziel anstreben, wird der Weg zu neuen Organisationsformen durch UNIVAC - Datenverarbeitungsanlagen geebnet. Diese Anlagen vollbringen weit mehr als nur rechnerische Routinearbeiten. Ihre volle Wirksamkeit entfalten sie in komplexen Aufgabenbereichen als Mittler der integrierten Datenverarbeitung.
Der Begriff UNIVAC umfaßt elektronische Systeme aller Leistungsklassen: vom Rechenautomaten bis zur Magnetband-Großanlage. Neueste Forschungsergebnisse garantieren Wirtschaftlichkeit und Anpassung an jeden Einsatzzweck. Modernste Bauelemente und Zusatzgeräte eröffnen weitgespannte Möglichkeiten der Automatisierung.

Schritthalten mit der Entwicklung, Vorausplanen der Zukunft - dafür stellen wir Ihnen nicht nur den technischen Apparat zur Verfügung, sondern auch unsere reiche Praxiserfahrung bei der personellen und organisatorischen Vorbereitung. Unsere Fachleute beraten Sie gern auf allen Gebieten der UNIVAC-Datenverarbeitung.

Remington Rand Univac

ABTEILUNG DER REMINGTON RAND GMBH · FRANKFURT AM MAIN

Die abgebildete Großrechenanlage IBM 7070
mit 12 Magnetbandeinheiten
und 100000 Magnetkernspeicherstellen
wurde am 1. Juli 1961 bei der
Deutschen Bundesbahn in Frankfurt
in Betrieb genommen.



Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung.

Unter Mitwirkung des Fachausschusses 6 „Informationsverarbeitung" der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE (NTG) herausgegeben im Verlag R. Oldenbourg, München und Wien.

Schriftleitung:

Dr. rer. nat. K. Becker-Berke, Sindelfingen
Dr. rer. nat. H. Billing, München,
Dr.-Ing. H.-J. Dreyer, Stuttgart,
Dr. rer. nat. R. Herschel, Ulm,
Dr. phil. nat. H. Kaufmann, München,
Dr. techn. H. Zemanek, Wien

Büro der Schriftleitung:

D. Kroneberg, München 8, Rosenheimer Straße 145, und 1 bis, Rue Vaneau, Paris 7ème

Verlag und Anzeigenverwaltung:

R. Oldenbourg, München 8, Rosenheimer Straße 145, Telefon: 4 59 21, Fernschreiber: 05/23789
R. Oldenbourg, Ges. m. b. H., Wien III, Neulinggasse 26, Telefon: 72 62 58

Bezugsbedingungen:

Die Zeitschrift „Elektronische Rechenanlagen" erscheint zweimonatlich, jeweils im Februar, April, Juni, August, Oktober, Dezember.
Bezugspreis DM 54,— (Ausland DM 56,—) im Jahr zuzüglich Zustellgebühr, Einzelheft DM 12,—. Postscheckkonto München Nr. 5004, R. Oldenbourg.
Mitglieder der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE (NTG) zahlen den ermäßigten Bezugspreis von DM 43,20 im Jahr, sofern sie ihre Bestellung an die NTG-Geschäftsstelle in Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6, richten.

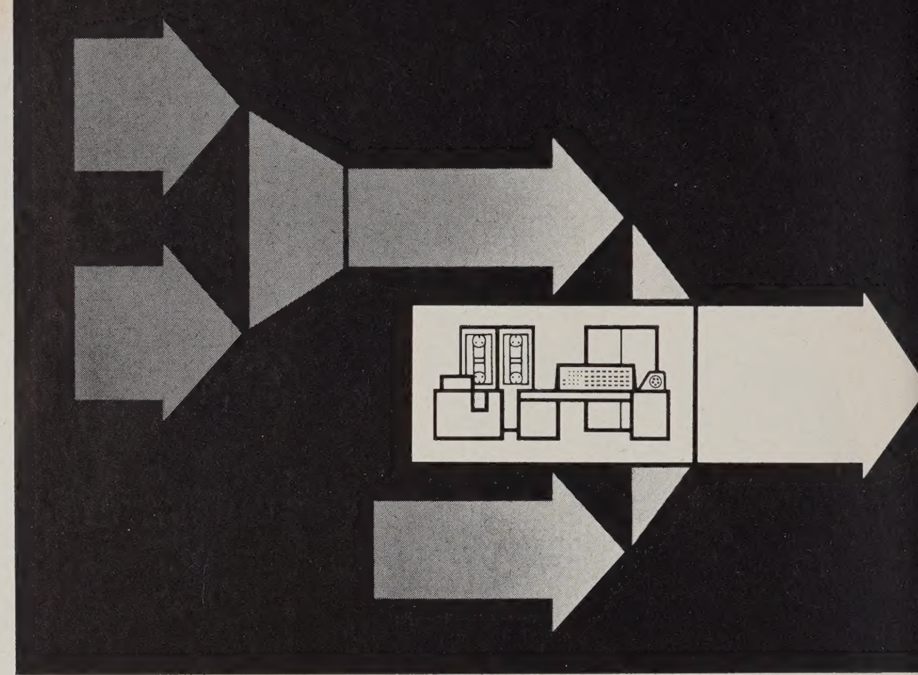
Mitteilungen über die Inhaber- und Beteiligungsverhältnisse des Verlages R. Oldenbourg auf Grund des Bayerischen Gesetzes über die Presse vom 3. 10. 1949: Die Gesellschafter-Anteile befinden sich im Besitz der R. Oldenbourg K.G., München, Rosenheimer Straße 145. Persönlich haftende Gesellschafter: Eberhard Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München, Wilhelmstr. 25; Dr. Rudolf Oldenbourg Verlagsbuchhändler, München-Solln, Karl-Singer-Straße 3; Horst Kliemann, Verlagsbuchhändler, München 19, Fafnerstr. 4; Kommanditisten: Mathilde v. Bomhard, München, Sternwartstr. 3; Gabriele v. Bomhard, München 15, Pettenkoferstr. 48/III; Cilla v. Cornides, Rinden/Tirol; Dr. Karl v. Cornides, Verlagsbuchhändler, Wien III, Neulinggasse 26; Wilhelm v. Cornides jr., Verlagsbuchhändler, Oberursel/Taunus, An der Heide 35; Frl. Cilla v. Cornides, München, Robert-Koch-Straße 18/IV; Brigitte Ferti, München, Borschtallee 30; Dipl.-Ing. Hans A. Fieser, Dir., Gauting, Waldpromenade 61; Irmgard Fieser, Gauting, Waldpromenade 61; Annemarie Günther, Rinden/Tirol; Dr. Helene Hahn, Bremen-Blumenthal, Landrat-Christian-Straße 79; Marie-Hedwig Klöpfer, Essen-Werden, Laupendahler Landstraße 17; Eva Lange, Bonn/Rhein, Baumschulallee 10; Maria Freifrau v. Meyern-Hohenberg, München, Kopernikusstr. 11/IV; Edith Müller, Hamburg 39, Clärchenstr. 22; Inge v. Negelein, München 27, Denninger Str. 34; Consuelo Oldenbourg, München, Viktor-Scheffel-Straße 10/I; Emmy Oldenbourg, Rinden/Tirol; Gertrud Oldenbourg, Bremen, Friedrich-Karl-Straße 80; Dr. John C. Oldenbourg, São Paulo/Brasilien, Rua Alagoas 676; Marga Oldenbourg, München, Wilhelmstr. 25; Walter Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München-Solln, Irmgardstr. 27; Wilhelm Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München-Solln, Karl-Singer-Straße 3; Wolfgang Oldenbourg, Kaufmann, München-Trudering, Waldschulstr. 75; Brigitte Reiner, Haar b. München, Vockestr. 82; Friedrich Rosenkranz, München 27, Denninger Str. 34; Ilse Rosenkranz, München 27, Denninger Str. 34; Sophie Schmid, Bad Reichenhall, Wisbacherstr. 4; Gräfin Inge Schönborn, München, Sternwartstr. 3; Use Schröder, Holaichtlaan 44, Den Haag; Luise Sieper, München, Bonner Straße 14; Hedwig Freifrau v. Stengel, Grünwald b. München, Gasteigweg 1.

Druck: R. Oldenbourg, Graphische Betriebe GmbH, München 8, Rosenheimer Straße 145

INHALT Heft 4 · 1961

CONTENTS





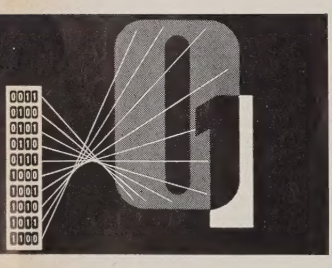
T 269

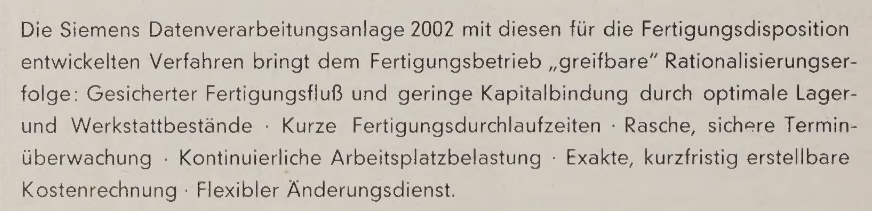
Fertigungsdisposition

Rationelle Arbeitsmethoden bestimmen den Erfolg der industriellen Fertigung. Die automatische Disposition mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen umfaßt bei Serien-, Einzel- oder gemischter Fertigung die gesamte Auftragsabwicklung: Bestelleingang, Beschaffung, Fertigung, Auslieferung, Kostenrechnung . . .

Die Siemens Datenverarbeitungsanlage 2002

löst diese komplexen Aufgaben mit speziellen Verfahren. –
Im **Dispositionsstufen-Verfahren** werden Baustufen automatisch in Dispositionsstufen umgewandelt. Die Vorteile dieses Verfahrens sind: verringerter Speicherbedarf, kurze Verarbeitungszeiten und einfache, sofortige Berücksichtigung aller Änderungen.
Die **integrierte Datenverarbeitung** ermöglicht das vielfältige Auswerten der gespeicherten Daten nach verschiedenen Gesichtspunkten in einem Arbeitsgang.
Das **Siemens-Speicherstufenverfahren** erspart – auch in seiner invertierten Form – aufwendige Sortierprozesse.





Die Siemens Datenverarbeitungsanlage 2002 mit diesen für die Fertigungsdisposition entwickelten Verfahren bringt dem Fertigungsbetrieb „greifbare" Rationalisierungserfolge: Gesicherter Fertigungsfluß und geringe Kapitalbindung durch optimale Lager- und Werkstattbestände · Kurze Fertigungsdurchlaufzeiten · Rasche, sichere Terminüberwachung · Kontinuierliche Arbeitsplatzbelastung · Exakte, kurzfristig erstellbare Kostenrechnung · Flexibler Änderungsdienst.

Unsere erfahrenen Organisationsfachleute helfen Ihnen bei der Einsatzplanung. Die weltweite Vertriebsorganisation des Hauses Siemens gewährleistet Ihnen zuverlässigen Kundendienst.

SIEMENS & HALSKE AKTIENGESELLSCHAFT
WERNERWERK FÜR TELEGRAFEN- UND SIGNALTECHNIK

Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung

3. Jahrgang 1961, Heft 4

Wenn das Wort „Speicherwerk" ausgesprochen wird, so denkt man zuerst an den Schnellspeicher einer digitalen Rechenanlage, und zwar an einen Speicher mit wahlweisem Zugriff. Dieser Anwendungsbereich wird heute vorwiegend durch die Magnetkernspeicher beherrscht, die sich durch eine fast unglaublich hohe Betriebssicherheit auszeichnen. Die größten Einheiten haben über 10^6 Kerne, wobei eine Anlage mehrere solcher Einheiten haben kann. Die Zugriffszeit, die in diesen Speicherwerken erreicht werden kann, ist für die meisten Fälle genügend kurz, doch ist die Tatsache nicht wegzuleugnen, daß die Magnetkernspeicher mit den schnellsten heute möglichen Rechenwerken, die Additionszeiten von Bruchteilen von μs erreichen, nicht Schritt halten können. Wenn wir auf die 15jährige Geschichte der elektronischen Rechenanlagen zurückblicken, so finden wir, daß die Zeitetappen, in denen die Geschwindigkeit der Rechenwerke jener der Speicher voraus war, bei weitem überwiegen. Dadurch wird man immer wieder gezwungen, durch alle möglichen Kunstgriffe in den Abläufen eine bessere Anpassung herzustellen. Dazu gehört besonders das „Vorausblicken" im Programm und der durch konsequente Weiterentwicklung dieses Prinzips entstehende „virtuelle Speicher".

Es ist schwierig zu sagen, ob es gelingen wird, in Magnetkernspeichern Zugriffszeiten im Bereich der Zehntelmikrosekunden zu erreichen (außer in ganz kleinen Einheiten). Als ernsthafte Konkurrenten treten heute die magnetischen Schichtspeicher auf. Die Umschaltzeit einer Schicht liegt im Bereich von Nanosekunden, so daß die Geschwindigkeit eines Speichers nicht mehr durch das Speicherelement selbst, sondern durch die Verbindungsleitungen und die Schaltkreise begrenzt sein wird. — Mit ziemlicher Sicherheit können wir sagen, daß der Ferromagnetismus als Prinzip der Speicherung noch auf Jahre hinaus vorherrschen wird. Speicher mit Tunneldioden oder supraleitenden Schichten liegen noch in einiger Ferne. Vielleicht eröffnet die erst vor wenigen Monaten realisierte Herstellung kohärenter Lichtstrahlen mit dem optischen Maser ganz neue Perspektiven.

In der Natur gibt es unzählige Phänomene, die bistabilen Charakter haben und die zum Bau eines Speichers Anlaß geben könnten; doch sind nur die wenigsten von ihnen verwendet worden. Der Grund dafür ist, daß die Aufgabe der Speicherung unzertrennlich mit jener der Selektion (als des Zugriffs zum gewünschten Platz) verknüpft ist. Die Selektion ist ein Schalten. Schalten bedeutet die Reproduktion einer Nachricht an einem anderen *Ort*, Speichern bedeutet die Reproduktion einer Nachricht zu einer anderen *Zeit*. Elemente, die in Rechenanlagen Verwendung finden sollen, müssen beide Funktionen erfüllen; das gilt für Speicherwerke ebenso wie für logische Schaltkreise.

Wenden wir uns nun den Massenspeichern zu, also den Apparaten, die möglichst große Datenmengen mit etwas längeren Zugriffszeiten (10—100 ms), aber immer noch wahlweisem Zugriff, speichern. Hier beherrschen Magnettrommeln und -platten das Feld. Für die Zukunft ist aber die photographische Speicherung von großer Bedeutung. Lichtstrahlen in optischen Systemen erweisen sich als betriebssichere und sehr flexible Informationsträger, die auch das Problem der Selektion befriedigend lösen lassen. Es ist heute erwiesen, daß die auf photographischen Schichten erreichbare Auflösung nur durch die Wellenlänge des verwendeten Lichtes begrenzt ist. Mit sichtbarem Licht müssen sich daher 10^{12} Bit auf einer Fläche von 1 m^2 aufzeichnen lassen. (Zum Vergleich sei bemerkt, daß die größte Bibliothek der Welt etwa 10^{14} Bit enthält.) Ein solcher Speicher gestattet nur die Ablesung, nicht aber die Speicherung von Daten. Neue Daten können nur eingegeben werden, indem man weitere Blätter mit photographischen Schichten hinzufügt. Diese Schichten müssen in einem Apparat hergestellt werden, der vom eigentlichen Speicherwerk getrennt ist. Für den Ablauf mathematischer Programme ist ein solcher Lesespeicher natürlich nicht brauchbar. Er eignet sich jedoch für neue Anwendungsgebiete, wie die Sprachübersetzung und das Aufsuchen wissenschaftlicher Publikationen. In einem Wörterbuch oder einer Bibliothek empfindet niemand die Notwendigkeit, Angaben zu löschen, und daher ist es durchaus sinnvoll, Lesespeicher zu bauen, die nur die Zufügung neuer Daten, nicht aber die Löschung von Zellen gestatten. Photographische Speicher stehen in Sprachenübersetzungsmaschinen schon heute im praktischen Betrieb.

Betrachten wir zum Schluß noch kurz die *Organisation* von Speichern.Oft ist man geneigt, die traditionelle Aufteilung in Zellen, von denen jede eine Adresse hat, mit der sie aufgerufen werden kann, als einzig mögliche Konzeption zu betrachten. Dieser Aufbau erweist sich denn auch für viele mathematische Aufgaben als weitaus der beste. In der Datenverarbeitung ist aber der Fall häufig, daß man Informationen abzulesen wünscht, ohne ihre Adresse zu kennen; dagegen sind gewisse Teile der gespeicherten Daten (beispielsweise der Beruf, wenn es sich um ein Personenverzeichnis handelt) bekannt. Ein Speicher, der diese Aufgabe erfüllt, ohne daß sämtliche Zellen durchgangen werden müssen, heißt „assoziativer Speicher". Mit ihm lassen sich viele Prozesse enorm vereinfachen. So wird beispielsweise der Vorgang der Sortierung, der bekanntlich mit konventionellen Speichern sehr umständlich ist, überhaupt unnötig gemacht. Assoziative Speicher sind aber erst als Versuchsmodelle bekanntgeworden.

Abschließend ist festzuhalten, daß bei der Entwicklung neuer Speicherwerke die Fragen der Technologie und der Organisation eng miteinander verwoben sind. Eine Neuerung ist nur dann brauchbar, wenn für beide Fragenkreise befriedigende, gegenseitig aufeinander abgestimmte Lösungen vorliegen. So hat beispielsweise die Erfindung von Elementen, die Anlaß zu einem assoziativen Speicher geben, nur dann einen Sinn, wenn gleichzeitig eine befriedigende Art gefunden wird, einen solchen Speicher im Rahmen einer ganzen Anlage nutzbringend einzusetzen.

A. P. Speiser

Notizen und Berichte

Integrierte Produktionsplanung ist das Ziel der amerikanischen *Hughes Aircraft Corporation*, die augenblicklich ein umfangreiches Netz von Datenverarbeitungssystemen aufbaut. Geplant ist die Aufstellung von 14 Satelliten-Rechnern vom Typ IBM 1401 in verschiedenen Niederlassungen der Gesellschaft, die mit einer zentralen IBM 7090 zusammenarbeiten sollen.

●

Eine Übersicht in der US-Zeitschrift ,,Control Engineering" (März 1961) zeigt, daß gegenwärtig rund zehn amerikanische Stahlerzeuger ihre vollautomatischen Walz- oder Drahtstraßen von Digitalrechnern steuern lassen. Im Gebiet der chemischen Verfahrenstechnik sind es rund fünfzehn Firmen, die gewisse Prozesse mit automatischen Digitalrechnern regeln. Ferner benutzen sechs größere Kraftwerke zum Hochfahren und Stillsetzen ihrer Kesselanlagen digitale Rechenautomaten. Nach dieser Übersicht zu urteilen, sind *General Electric* (mit den Maschinen GE 312 und GE 412) und *Ramo Wooldridge* (mit RW 300) die erfolgreichsten Hersteller von derartigen ,,on-line"-Rechenautomaten.

●

Der Marktanteil elektronischer Datenverarbeitungsanlagen hat in den USA im Laufe des Jahres 1959 den Wert von 1 Milliarde Dollar überschritten. Beobachter rechnen mit einem Anwachsen auf das drei- bis vierfache dieses Wertes bis 1965.

●

Die *Deutsche Shell AG* nimmt in Frankfurt am Main zur Rationalisierung ihrer Verwaltungsarbeiten eine elektronische Datenverarbeitungsanlage des Typs UNIVAC UCT-System in Betrieb. Die von der Remington Rand GmbH, Frankfurt am Main, gemietete Anlage wird für die Fakturierung, Buchhaltung und die Erstellung verschiedener Statistiken eingesetzt.

Das bei der Deutschen Shell AG installierte UNIVAC UCT-System, das mit sieben Magnetbandspeichereinheiten ausgerüstet ist, wurde in Deutschland erstmalig auf der diesjährigen Industrie-Messe in Hannover vorgeführt. Das Aufnahmevermögen eines einzigen Magnetbandes entspricht dem Informationsinhalt von 40000 Lochkarten, so daß auch außerordentlich große Datenmengen raumsparend gespeichert werden können.

●

In der Zeitschrift für Astrophysik 50 (1960), S. 184—214 veröffentlichte Dr. *S. von Hoerner* eine Arbeit des Astronomischen Recheninstituts in Heidelberg über: Die numerische Integration des n-Körper-Problems für Sternhaufen I". In dieser Arbeit wird über Berechnungen berichtet, die unter anderem die Fragen beantworten sollen, ob es einen Sinn hat, die Theorie der Sternhaufen bereits mit wenigen Sternen prüfen zu wollen, und wie der Rechenaufwand mit der Anzahl n der Sterne steigt. Darüber hinaus werden Tabellen und Kurven über die Dichteverteilung und Geschwindigkeitsverteilung der Sternhaufen und ihre zeitliche Entwicklung angegeben.

Um die erstgenannten Fragen zu beantworten, wurden einige Beispiele auf der Siemens-Datenverarbeitungsanlage 2002 der Universität Tübingen gerechnet, und zwar mit $n = 4$, 8, 12 und 16 Sternen. Es ergab sich, daß die Berechnung schon bei dieser geringen Zahl eine ausreichende Genauigkeit liefert. Die Dauer der Berechnung steigt etwa mit n^4 an.

Der Verfasser faßt die Ergebnisse wie folgt zusammen: ,,Man kann sagen, daß sich die hier vorgeschlagene Methode bewährt hat. Es ist durchaus sinnvoll, auch mit einer geringen Anzahl von Sternen die vorhandene Theorie zu kontrollieren und ihre Weiterentwicklung anzuregen. Voraussetzung dafür ist eine schnelle Rechenmaschine."

Zur Durchführung der Berechnungen mit der Siemens-Datenverarbeitungsanlage 2002 schreibt von Hoerner: ,,Die Zuverlässigkeit der Maschine war ausgezeichnet. Während der gesamten Rechnungen ist kein nachweislicher Fehler bei Rechnung oder Ausgabe passiert. Für das Beispiel $n = 16$ wurde die Maschine abends eingeschaltet und über Nacht, ohne Aufsicht, in Betrieb gelassen. Am Morgen lief die Rechnung noch immer einwandfrei."

●

Scandinavian Airlines System (SAS) hat auf dem Flughafen Kastrup in Kopenhagen ein neues Fluggewicht-Erfassungssystem in Betrieb genommen. Das System macht es möglich, während der Abfertigung eines Flugzeuges vor dem Abflug den jeweiligen Beladezustand zu kontrollieren und den noch zur Verfügung stehenden freien Laderaum auszurechnen. Damit kann die Transportkapazität eines Flugzeuges optimal ausgenutzt werden.

Das System erlaubt insbesondere: 1. Buchungen bis zur letzten Minute vor Abflug eines Flugzeuges, wodurch es möglich ist, die Wartelisten-Passagiere besser zu behandeln; 2. einen schnellen Bearbeitungsprozeß an den Schaltern, so daß bereits Sekunden nach Buchung des letzten Passagiers automatisch die fertigen Ladelisten ausgedruckt werden können; 3. in jedem Augenblick den jeweiligen Ladezustand des Flugzeuges festzustellen, was die Möglichkeit gibt, noch Zuladungen vornehmen zu können; 4. Personal zu sparen; 5. Abfertigungen für alle Flüge an allen Schaltern vorzunehmen.

Das System vermeidet dagegen: 1. Das Befördern und 2. das Sortieren der Gepäckscheine; 3. ein manuelles Zusammenrechnen der Anzahl der Passagiere und des Gepäckgewichtes; 4. lange und umständliche Telefongespräche zwischen den Abfertigungsschaltern und der Lademeisterei. Die Anlage besteht aus einem Universalrechner ZEBRA der *Standard Telephones and Cables Ltd.* (STC) und einem für diesen Zweck von der *Standard Elektrik Lorenz AG* entwickelten elektronischen Spezialteil. Zwei unterschiedliche Typen von Eingabepulten steuern die Anlage. Das eine, für die Abfertigung der Passagiere am Schalter benutzte Pult ist dem in den Flugplatzreservierungsanlagen verwendeten Pult sehr ähnlich, das zweite hat dagegen als Ladekontrollpult wesentlich erweiterte Funktionen. Bei der Kontrolle der Personenzahl und der Gepäckgewichte lassen sich diese Werte über die Tastaturen in den Rechner eingeben. Später können dann automatisch Ladelisten und Lademitteilungen über Fernschreiber und Lochstreifenstanzer hergestellt und der jeweilige Stand der freien Passagierplätze sowie andere für die Beladung des Flugzeuges interessierende Daten automatisch angezeigt und ausgedruckt werden.

●

Wie schon berichtet, veranstaltet die *Autonomics Division* des *National Physical Laboratory* in Teddington vom 5. bis 8. September 1961 eine Tagung zum Thema Maschinelle Sprachübersetzung (Machine Translation of Languages and Applied Language Analysis). Das vorläufige Programm enthält 27 Vorträge, die auf acht Sitzungen verteilt sind. Leiter dieses ersten internationalen Symposiums sind A. M. Uttley und L. E. Dostert. Die Teilnehmergebühr beträgt 80 DM, worin die Unkosten für die später zu veröffentlichenden Proceedings und Mittagessen im Glazebrook Hall Restaurant enthalten sind. Teddington ist vom Londoner

Waterloo Bahnhof bzw. vom West London Air Terminal bequem zu erreichen.

Wie die Veranstalter mitteilen, sollen die Conference Proceedings für Nichtteilnehmer zu gegebener Zeit über das H. M. Stationery Office erhältlich sein. Elektron. Rechenanlagen bringt einen Bericht über diese Tagung voraussichtlich im Oktoberheft.

●

Die (private) Höhere Technische Lehranstalt, Dipl.-Ing. *H. D. Bohne*, München, ist bisher die einzige Institution der Bundesrepublik, die eine schulmäßige Ausbildung in der Fachrichtung ,,Elektronisches Rechnen" bietet. Seit September 1959 verfügt die Anstalt über ein Institut für elektronisches Rechnen und Werkstoffprüfung, das zunächst mit einer IBM 610 ausgestattet wurde. Die Lehranstalt erhält als staatlich genehmigte Privatschule keinerlei staatliche Zuschüsse und finanzierte die Miet- und Betriebskosten der Rechenanlage durch die Ausführung von Lohnaufträgen für die Industrie. Da die IBM 610 auf diese Weise bald voll ausgelastet war, wurde im März dieses Jahres ein Zuse-Rechenautomat Z 22 R in den neuen Räumen des Instituts, München, Richard-Wagner-Straße 27, in Betrieb genommen.

●

Die seit einigen Jahren im Rahmen der ,,Fachgebiete der Technik in Jahresübersichten" in der VDI-Zeitschrift erschienenen Berichte über elektronische Rechenanlagen wurden in diesem Jahr in Heft 17 mit einer ausführlichen Arbeit über aktuelle digitale Rechenanlagen in Europa und Amerika fortgesetzt. Vier Tabellendoppelseiten geben eine Übersicht der Hauptdaten von 32 Anlagen, der Textteil ergänzt für diese und andere Anlagen Besonderheiten des Aufbaus und der Anwendung und gibt Literaturhinweise (VDI-Z. 103 [1961], S. 767—775).

●

Die *ITT Federal Laboratories*, eine Abteilung der International Telephone and Telegraph Corp. (ITT), erhielten als erstes privates Unternehmen der USA die Genehmigung zum Betrieb einer Funkanlage, die einer grundlegenden Erforschung der Übertragungsverhältnisse bei der Nachrichten-Übermittlung von der Erde in den Weltraum und über passive Satelliten dienen soll. Die Station, die sendeseitig eine Leistung von 10 kW aufweist und empfangsseitig den neuen parametrischen Verstärker der ITT verwendet, arbeitet auf einer Frequenz von 2299,5 MHz mit dem Rufzeichen KFQYBR.

●

Die ITT Federal Laboratories haben außerdem mit der *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) der USA einen Vertrag zur Entwicklung und zum Bau von Einrichtungen für das meteorologische Wettersatellitenprogramm ,,Nimbus" abgeschlossen. Die Lieferung umfaßt mehrere Typen von Infrarot-Meßgeräten zur Feststellung der Wolken bei Nacht und der Temperatur der oberen Wolkenschichten. Der Wettersatellit ,,Nimbus", der im nächsten Jahr gestartet wird, soll den Meteorologen vor allem Wetterinformationen von außerhalb der Erdatmosphäre vermitteln.

●

Am 10. April 1961 fand in Frankfurt die Gründungssitzung des Ausschusses Datenverarbeitung im DNA (Deutscher Normenausschuß) statt. An der Gründungssitzung nahm ein großer Kreis von Interessenten aus der herstellenden Industrie, den technisch-wissenschaftlichen Vereinen und aus Anwenderorganisationen teil.

Die Gründung des Ausschusses Datenverarbeitung wurde notwendig, um die bisher an zahlreichen verschiedenen Stellen in Deutschland in Angriff genommenen Normungsarbeiten zusammenzufassen und um in Deutschland einen Ausschuß zur Verfügung zu haben, der an den internationalen Normungsarbeiten mitarbeiten kann. Der Ausschuß ist auf internationaler Ebene der Partner der ISO und der IEC, die beide Normungsarbeiten auf dem Gebiet der Informationsverarbeitung aufgenommen haben, und zwar die ISO in ihrem Technischen Komitee TC 97 ,,Computers and information processing" und die IEC im TC 53 ,,Computers and data processing machines".

Zum Vorsitzenden des Ausschusses wurde Dr. *K. Goßlau* (Siemens & Halske AG, München), zum stv. Vorsitzenden wurden Prof. Dr. *F. L. Bauer* (Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik, Institut für Angewandte Mathematik der Universität Mainz) und Prof. Dr. *N. J. Lehmann* (Gesellschaft für Meßtechnik und Automation, Institut für Maschinelle Rechentechnik an der Technischen Hochschule Dresden) gewählt. Die Geschäftsstelle des neuen Ausschusses betreut Dipl.-Ing. *Mohr*, DNA, Berlin.

Der DNA-Ausschuß Datenverarbeitung wird vorwiegend diejenigen Fragenkomplexe behandeln, die das Zusammenwirken von Mensch und Anlagen sowie das der Anlagen und Geräte untereinander betreffen. Die Arbeit wird in fünf Unterausschüssen durchgeführt, die nachstehende Themenkreise umfassen:

Unterausschuß 1 Begriffe und Symbole (Obmann: Dr. *Güntsch*, Telefunken)
- Arbeitskreis a Begriffe und Benennungen (Obmann: Prof. Dr. *Walther*, NTG)
- Arbeitskreis b Begriffe und Symbole für Flußdiagramm-Darstellungen (Obmann: Dr. *Breitling*, Olympia)

Unterausschuß 2 Auswahl, Gruppierung und Darstellung von Zeichen bei Eingabe und Ausgabe (Obmann: Dipl.-Ing. *Zschekel*, Standard Elektrik Lorenz)
- Arbeitskreis a Codierung und verwandte Probleme (Obmann: Dr. *Ulbrich*, Telefunken)
- Arbeitskreis b Zeichenerkennung (Obmann: Dr. *Dietrich*, Standard Elektrik Lorenz)

Unterausschuß 3 Physikalische Eigenschaften der Informationsträger bei Eingabe und Ausgabe (Obmann: Ing. *Schröter*, IBM, stv. Obmann Dr. *Krones*, Agfa)

Unterausschuß 4 Technologische Probleme an den Trennstellen bei Verbindungen von Rechnern, Hilfsgeräten und Datenübertragungsgeräten (Obmann: Dr. *Rihaczek*, Remington Rand Univac, stv. Obmann Dr. *Bodo*, Zuse)

Unterausschuß 5 Programmierungssprachen (Obmann: Dr. *Gumin*, Siemens & Halske AG, stv. Obmann Prof. Dr. *Samelson*, *GAMM*)

Das große Interesse aller angesprochenen Kreise und die rege Mitarbeit im Ausschuß sprechen für die Notwendigkeit und von der großen Bereitschaft, auf diesem jungen, rasch wachsenden Gebiet zu Absprachen zu kommen.

Die erste Beiratssitzung fand Ende Mai statt. Die ersten Unterausschüsse tagten Ende Juni und Anfang Juli; die anderen Unterausschüsse werden erstmals Anfang September zusammentreten. Im internationalen Rahmen fanden bisher vorbereitende Sitzungen der IEC und die erste Tagung des ISO TC 97 statt; das TC 53 der IEC wird erstmalig im November zusammenkommen.

Unter der Schirmherrschaft der *British Conference on Automation and Computation* planen die *Institution of Electrical Engineers* (IEE) und eine Arbeitsgruppe der Londoner Banken ein Symposium zum Thema „Elektronische Technik im Bankwesen". Die für beide Seiten — Hersteller und Benutzer von Datenverarbeitungssystemen — gedachte Tagung soll am 17. und 18. Januar 1962 im Gebäude der IEE in London stattfinden. Auskünfte erteilt der Sekretär der *Institution of Electrical Engineers, Savoy Place, London W.C.* 2.

●

Der seit etwa zwei Jahren sich verstärkende Trend amerikanischer Firmen, Niederlassungen in Europa zu gründen oder zumindest durch Generalvertretungen an der europäischen Marktentwicklung teilzunehmen, hat nun auch die *Philco Corporation* veranlaßt, das Europageschäft auf eine feste Basis zu stellen. Nach einer Pressemitteilung von Philco wird in Zukunft die schwedische ABN Gruppe (Hauptsitz Tyreso) Vertrieb und Wartung des Philco 2000-Datenverarbeitungssystems übernehmen. Der Vertriebsbereich umfaßt neben den skandinavischen Ländern auch die Bundesrepublik, Frankreich, Belgien, Luxemburg und die Niederlande.

Die neugegründete ABN Computer Division wird von Bertil Greko geleitet. Hauptgesellschaften in der ABN Gruppe sind Svenska Relafabriken ABN AB, Teledata ABN AB, Eksjoverken ABN AB und AB Mjolbyverken.

●

Die *Autonetics Industrial Products*, ein Zweigunternehmen der North American Aviation Inc. (3400 E. 70th St., Long Beach, Calif.) hält jetzt die Beschreibung ihres neuen Digitalrechners Recomp III verfügbar.

●

Die Berichte der internationalen Arbeitstagung Automatic Documentation in Action (ADIA) sind jetzt als Beiheft Nr. 8/1961 der „Nachrichten für Dokumentation" der *Deutschen Gesellschaft für Dokumentation e. V.* erschienen. Über die im Sommer 1959 in Frankfurt abgehaltene Tagung brachte Elektron. Rechenanl. 1 (1959), H. 3, einen Kurzbericht.

Der nunmehr vorliegende Band enthält sämtliche Vorträge und Referate dieser Tagung (289 Seiten im Offsetdruck, 82 Abbildungen). Er kann bei der Geschäftsstelle der *Deutschen Gesellschaft für Dokumentation, Frankfurt a. M., Schubertstraße 1*, zu einem Unkostenbeitrag von DM 20,— zuzüglich DM 1,50 bzw. DM 2,50 (Ausland) für Porto und Verpackung bezogen werden.

●

Bereits vor zwei Jahren hatten wir Gelegenheit, an dieser Stelle auf die bedenkliche Situation der Luftverkehrsregelung vor allem in den USA hinzuweisen. *L. H. Young*, Schriftleiter der Zeitschrift „Control Engineering", hatte damals mit bemerkenswerter Skepsis über die Pläne der Federal Aviation Agency berichtet, nach denen die erste Phase zur Automatisierung der Flugsicherung bis 1963 abgeschlossen sein sollte.

Inzwischen ist der Flugverkehr überall rapide angestiegen, und es kam zu den ersten Unglücken, die eindeutig auf mangelhafte Verkehrsüberwachung zurückzuführen sind. Auch im europäischen Luftraum nimmt die Verkehrsdichte stellenweise bedenkliche Formen an, und auch hier ist man der Ansicht, daß nur ein integriertes Überwachungssystem auf lange Sicht der Probleme Herr werden kann. Über gewisse Planungen der für die Bundesrepublik zuständigen Behörde (Bundesanstalt für Flugsicherung) brachten wir im Aprilheft einige Notizen. Genauere Einzelheiten scheinen allerdings bisher nicht veröffentlichungsreif zu sein. Auch über die im schottischen Flughafen Prestwick installierte Datenverarbeitungsanlage Ferranti „Apollo" ist vorläufig nichts in Erfahrung zu bringen.

Das von uns schon mehrfach erwähnte „Bulletin of the Provisional International Computation Centre" (Rom) veröffentlicht in seiner 13. Nummer den vollständigen Europa-Bericht von *I. L. Auerbach* über den Stand der Datenverarbeitungstechnik in den westeuropäischen Ländern. Bekanntlich hatte dieser Bericht, von dem Teile im Januarheft 1961 der Proc. I. R. E. abgedruckt waren, in USA einiges Aufsehen erregt, da er erkennen läßt, daß Forschung und Produktion auf dem Gebiet der Datenverarbeitung in Europa durchaus erstrangige Bedeutung haben.

In der gleichen Nummer des „Bulletin of the Provisional International Computation Centre" wird angekündigt, daß die bisher serienweise publizierten Daten über Rechenzentren aus aller Welt nunmehr in einem Sammelband (Loseblatt-Sammlung) herausgebracht werden. Das Werk trägt den Titel „International Repertory of Computation Laboratories" und kostet 6,50 Dollar. Es ist zu beziehen durch: *Provisional International Computation Centre, Palazzo degli Uffici, Zona dell'EUR, Rom.*

●

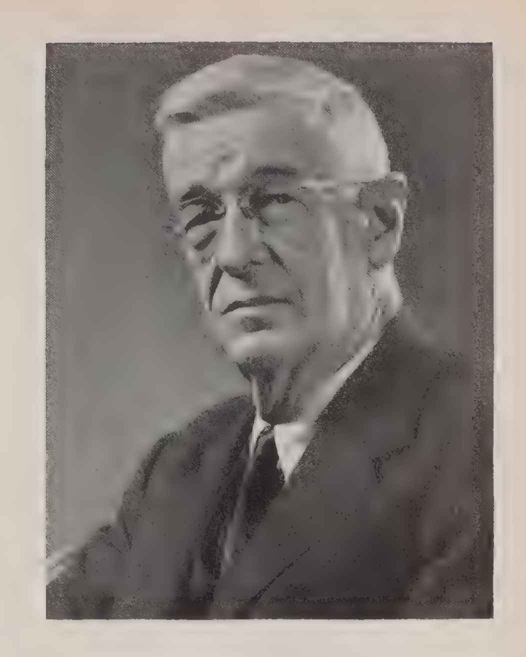
Nach einer Schätzung der Armour Research Foundation der Universität von Illinois wies die elektronische Industrie in USA 1960 einen Umsatz von 10 Milliarden Dollar auf. Gegenüber 1948 ist diese Zahl demnach um etwa das Fünffache gestiegen. Bis 1970 rechnet man mit einem weiteren Anwachsen auf runde 20 Milliarden Dollar. Annähernd die Hälfte der einschlägigen Industrie ist im Nordosten der Vereinigten Staaten versammelt.

●

Von einem erneut befriedigenden Ergebnis berichtet die *Telefunken* GmbH, Berlin, in ihrem Rückblick auf das Geschäftsjahr 1960/61. Wie aus dem jetzt vorgelegten Abschluß per 31. 3. 1961 hervorgeht, konnte das Unternehmen im 58. Geschäftsjahr seinen Umsatz um 120 (i. V. 115) Mill. DM, d. h. um 21% auf 691 Mill. DM erhöhen. Die gesamte elektrotechnische Industrie sowie in ihr die elektronische Industrie steigerten im Vorjahr ihren Umsatz um 16%. Am Umsatz von *Telefunken* ist der Export mit etwa 25% beteiligt. Der Gesamtumsatz einschließlich der Gesellschaften, die sich im alleinigen Besitz des Unternehmens befinden, erreichte nach Abzug der gegenseitigen Lieferungen rund 740 Mill. DM (620), d. h. fast eine dreiviertel Milliarde. Da die Preise der Erzeugnisse von *Telefunken* im Berichtsjahr keine steigende, sondern zum Teil sogar fallende Tendenz zeigten, kann man von einer echten Umsatzsteigerung sprechen. Als Folge der Geschäftsausweitung stieg die Belegschaft auf rund 35000 Mitarbeiter.

Der ausgewiesene Reingewinn von *Telefunken* beträgt 14,9 Mill. DM und wird zur Ausschüttung einer Dividende von 14% auf das dividendenberechtigte Kapital verwendet. Auch für das laufende Geschäftsjahr könne wieder mit einer befriedigenden Entwicklung gerechnet werden, erklärte der Vorsitzer des Vorstandes Dr.-Ing. Hans Heyne vor der Presse.

Telefunken hat auch im Geschäftsjahr 1960/61 seine Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen auf dem elektronischen Gebiet weiter verstärkt. Auf dem Sektor Informationstechnik und Datenverarbeitung stellte sich das Unternehmen auf die parallel zu dem raschen technischen Fortschritt zunehmende Erweiterung der Anwendungsgebiete für elektronische Geräte und Anlagen ein. Während der Prototyp einer von *Telefunken* gemeinsam mit der Deutschen Bundespost entwickelten, in Darmstadt aufgestellten automatischen Briefverteilanlage am 14. Juli von Bundespostminister Stücklen der Öffentlichkeit vorgestellt wurde, werden die Entwicklungsarbeiten u. a. für die Automatisierung der Postscheckämter fortgesetzt.



Vannevar Bush

Forschung und Lehre, diese besonders in unseren Tagen so schwer miteinander zu vereinenden Bereiche, umschließen noch nicht das ganze Gebiet, auf dem ein Wissenschaftler tätig sein kann. Die beratende Funktion im öffentlichen Leben, oder gar die Wahrnehmung eines staatspolitischen Amtes lassen sich sehr wohl mit den übrigen Aufgaben eines Wissenschaftlers verbinden. Es gibt Beispiele dafür, daß eine solche Verbindung günstige Ergebnisse für alle Seiten zur Folge haben kann — vielleicht nicht so sehr bei uns wie etwa in den Vereinigten Staaten, deren gesellschaftliche Struktur ja ohnehin dem einzelnen einen gewissen Tribut an das Gemeinwesen auferlegt. Falsch kann es jedenfalls nicht sein, wenn ein Wissenschaftler der lokalen oder nationalen Politik etwas nähertritt — und zwar nicht nur als Lobbyist, der die Ansprüche der Forschung oder der Hochschulen vertritt, sondern als kühler Kopf, dem es um aktive und konstruktive Mitarbeit geht. Nehmen wir uns den heute 71jährigen Amerikaner Vannevar Bush als Beispiel.

Bush entstammt einer alten Familie, die seit mehr als vier Generationen in Massachusetts ansässig ist. Sein Vater war protestantischer Pfarrer. Bis 1913 besuchte Vannevar das Tufts College, wo er das ,,Batchelor of Science" - und das ,,Master of Science"-Examen ablegte. Danach ging er an das Massachusetts Institute of Technology und promovierte dort als 26jähriger zum Dr.-Ing. Schon vor seiner Promotion arbeitete er im Prüffeld der General Electric Co. (1913) und in der Inspektionsabteilung der US Navy (1914). Um dieselbe Zeit hielt er am Tufts College mathematische Vorlesungen und wurde hier anschließend Lehrbeauftragter für Elektrotechnik. Nach dem ersten Weltkrieg ging er zurück zum MIT, wo er zunächst als a. o. Professor und in der Folge als Ordinarius für elektrische Energieübertragung tätig war. Wegen seiner ausgezeichneten organisatorischen Fähigkeiten wurde er 1932 zum Vizepräsidenten des MIT ernannt.

Sein Ruf als Koordinator breitete sich ebenso aus wie sein Ansehen als Lehrer und Forscher. Im Jahre 1938 wurde er zum Präsidenten der Carnegie Institution of Washington D.C., einer der wichtigsten Forschungsgesellschaften in den USA, ernannt — ein Amt, das er ohne Unterbrechung bis zu seiner Emeritierung am 31. Dezember 1955 innehatte. Vannevar Bush, der die Eigenschaften eines erfolgreichen Wissenschaftlers mit den Willensäußerungen einer geborenen Führerpersönlichkeit zu verbinden wußte, erreichte in der Carnegie Institution einen Grad von Zusammenarbeit mit anderen Forschungsgruppen, den man dort bisher nicht gekannt hatte. So ist es verständlich, daß man bei Ausbruch des zweiten Weltkrieges auf ihn zurückgriff: bereits 1940 wurde er vom Präsidenten der Vereinigten Staaten zum Vorsitzenden des National Defense Research Committee ernannt und ein Jahr darauf zum Direktor des neu gegründeten Office of Scientific Research and Development. Bush wurde damit zur zentralen Figur im damaligen amerikanischen Verteidigungsprogramm.

Im Herbst 1944 wurde Dr. Bush von Präsident Roosevelt gebeten, seine Erfahrungen auf dem Gebiet der militärischen Verteidigung in einer Denkschrift festzulegen, die zeigen sollte, wie diese Erfahrungen für das Allgemeinwohl auszunutzen wären. Die berühmt gewordene Schrift trug den Titel ,,Science, the Endless Frontier" und diente in der ersten Nachkriegszeit dem Kongreß als Studienunterlage.

Unter dem abgewandelten Titel ,,Endless Horizons" erschien 1946 ein Sammelband mit Veröffentlichungen und Denkschriften aus Bushs Feder. Eine seine bekanntesten Publikationen ist ,,Modern Arms and Free Men" (1948). Als Forscher betätigte er sich auf vielen Gebieten. Von besonderer Bedeutung sind jedoch seine Arbeiten auf dem Gebiet der elektronischen Rechenmaschinen. Bereits 1935 hatte er am MIT mit der Entwicklung eines Differential-Analysators begonnen — einer nach dem Analogprinzip arbeitenden, gewaltigen Maschine von 100 t Gewicht, die ca. 2000 Röhren, einige tausend Relais und etwa 150 Motore enthielt, und die zur Lösung von Differentialgleichungen mit bis zu 18 Variablen diente. Wenn auch die später einsetzende Entwicklung von Digitalrechnern der Weiterentwicklung derartiger Mammutmaschinen hinderlich war, hat dieser Differential-Analysator einer ganzen Generation von Ingenieuren und Mathematikern richtungweisende Impulse gegeben. In Fachkreisen gilt deshalb Vannevar Bush als einer der Väter der modernen Rechenautomatentechnik, und die lange Liste von Ehrungen und Titeln, die ihm nicht nur in den USA, sondern in der ganzen wissenschaftlichen Welt zuteil wurden, gibt dafür das beste Zeugnis.

Kbg.

Probleme und Anwendungen der Datenübertragung

Problems and applications of data transmission

von H. AULHORN, H. LANGE und H. MARKO

Standard Elektrik Lorenz AG, Stuttgart

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 4, S. 148-159
Manuskripteingang: 18. 7. 1961

Das ständige Anwachsen der Automation erfordert Übertragungseinrichtungen für die speziellen Anforderungen, die sich aus der nachrichtentechnischen Verbindung von Maschinen untereinander ergeben. Dabei treten Probleme auf, die auf Grund verschiedener Ursachen beträchtlich von denen der herkömmlichen Übertragungstechnik abweichen: die Maschinensprache gehorcht anderen Gesetzen als die menschliche Sprache; die Struktur der zu übertragenden Nachrichten stellt eigene Forderungen an das Übertragungssystem; neuartige Nachrichtenquellen erfordern spezielle Anpassungsgeräte. Diese Probleme werden diskutiert, die sich daraus ergebenden Schlußfolgerungen werden an Hand eines realisierten Datenübertragungssystems beschrieben.

The steadily broadening range of automation calls for transmission equipment to meet the specific requirements involved in the interconnection of machines rather than human beings. In this field of communication, new problems are encountered which differ widely from conventional transmission techniques in several respects: machine language obeys rules different from those of human language; the structure of the data transmitted imposes particular demands on the transmission system; new data sources necessitate specific adaptation equipment. These problems are discussed, and the resulting conclusions are described, along with a newlye stablished data transmission system.

1. Einleitung

Unter dem Begriff Datenübertragung faßt man eine Anzahl von Aufgaben zusammen, die mit der Übertragung digitaler Information zusammenhängen. Solche Aufgaben sind z. B. zu lösen, wenn Unterlagen für die Buchführung, die bei der Außenstelle eines Unternehmens im Lauf des Tages anfallen, möglichst rasch für eine automatische Verarbeitung zur Hauptverwaltung weitergeleitet werden sollen. In diesem Fall wäre es z. B. einer Bank möglich, ihre zentrale Kontenkartei immer auf dem laufenden zu halten, oder eine an anderem Ort liegende Fabrik könnte die Unterlagen zur Lohnabrechnung (Akkordleistungen, Personalveränderungen) kurz vor dem Abrechnungstermin an das zentrale Lohnbüro leiten.

Ein anderer Anwendungsfall ist das Sammeln von Daten, wenn z. B. einer großen Anzahl weit verstreut wohnender Interessenten die Möglichkeit gegeben werden soll, Bestellungen an ein zentrales Lager oder an ein Warenversandhaus aufzugeben. Durch die Datenübertragung kann hier die Automatisierung der Lagerhaltung und des Warenversandes noch einen Schritt weitergeführt werden, und für den Interessenten ergibt sich der Vorteil kürzerer Bearbeitungszeit und einer kleineren eigenen Lagerhaltung.

Als drittes Beispiel von vielen soll noch die automatische Flugbuchung angeführt werden. Hier bietet eine Datenübertragung den Luftverkehrsgesellschaften die Möglichkeit, alle Flugreservierungen an einer Stelle zu erfassen. Von den Agenturen werden die Buchungsdaten sofort an den zentralen Buchungsautomaten gegeben. Vor der Buchung wird an den Buchungsautomaten eine Verfügbarkeitsanfrage gerichtet, die innerhalb weniger Sekunden beantwortet wird. Dadurch können die Kunden sofort bedient werden, die Gefahr von Überbuchungen und die Notwendigkeit, Reserveplätze zurückzuhalten, entfallen.

Das Kernproblem aller dieser Aufgaben, die Übertragung binärer Stromschritte über einen bandbegrenzten, gestörten Nachrichtenkanal, beschäftigt die Nachrichtentechniker im Zusammenhang mit der Telegrafie schon seit mehr als einem halben Jahrhundert. In dieser Zeit sind die Telegrafiegeräte und die Telegrafennetze zu einer hohen Reife gelangt.

Nun bringt die zunehmende Anwendung datenverarbeitender Maschinen in wachsendem Maß die Notwendigkeit mit sich, diesen Maschinen die Daten auf eine möglichst rationelle Weise zuzuführen. Dazu ist in vielen Fällen die elektrische Übertragung der beste Weg. Während jedoch bei der Telegrafie die übertragene Nachricht von Menschen erzeugt und für Menschen bestimmt ist, entstammen die zu übertragenden Daten häufig einem maschinellen Prozeß und sind meistens für die Auswertung durch Rechenmaschinen vorgesehen. Diese Wandlung der Aufgabenstellung gegenüber der Telegrafie bringt eine Reihe von neuen Problemen mit sich, die je nach der speziellen Anwendung verschiedene Lösungswege verlangen.

Eines dieser Probleme ist die Fehlersicherheit der Übertragung, an die aus zwei Gründen höhere Anforderungen gestellt werden müssen als bei der Telegrafie: Erstens fehlt oft beim Auswerten der Nachricht der Mensch mit seiner Kombinationsfähigkeit, infolgedessen werden auch die an sich erkennbaren Fehler in der Nachricht mit weiterverarbeitet. Zweitens kann man die für eine maschinelle Auswertung bestimmten Nachrichten mit sehr wenig Redundanz abfassen und wird das wegen der Wirtschaftlichkeit natürlich soweit wie möglich ausnutzen. Dadurch wird die Anzahl der an sich erkennbaren Fehler kleiner als bei der üblichen Telegrafie, wo im allgemeinen zusammenhängende Texte übertragen werden.

Aus diesen Gründen muß man für die Datenübertragung in vielen Fällen besondere Maßnahmen zur Fehlerkorrektur ergreifen. Das kann entweder dadurch geschehen, daß man die Daten schon in der Nachrichtenquelle zweckentsprechend, d. h. mit ausreichender Redundanz, codiert und später in dem auswertenden elektronischen Rechner überprüft, oder man kann die Maßnahmen zur Fehlerkorrektur vor und nach der Übertragung in besonderen Geräten durchführen. In vielen Fällen ist das letzte Verfahren vorzuziehen, denn es gestattet, den Grad des Fehlerschutzes dem jeweiligen Übertragungsmedium anzupassen und die teuren Rechner von dieser Aufgabe zu entlasten.

Ein zweiter wesentlicher Punkt, in dem sich die Datenübertragung von der herkömmlichen Telegrafie unterscheidet, ist die Übertragungsgeschwindigkeit. In der Telegrafie arbeitet man vorzugsweise mit 50 Baud, weil diese Geschwindigkeit gestattet, Nachrichten üblicher Länge in einer erträglich kurzen Zeit zu übermitteln, und weil für

50 Baud ausgelegte Kanäle auch bei manueller Eingabe der Nachricht verhältnismäßig gut ausgenutzt sind. Bei der Datenübertragung spielt die Begrenzung der Eingabegeschwindigkeit durch den Menschen nur selten eine Rolle, und häufig sind die Nachrichten so umfangreich, daß höhere Geschwindigkeiten gebraucht werden, wenn eine elektrische Übertragung sinnvoll sein soll. Im Gegensatz zur Telegrafie kann man hier aber nicht eine einzige bevorzugte Geschwindigkeit angeben, vielmehr erstreckt sich das Spektrum der wirtschaftlich zweckmäßigen Geschwindigkeiten von 10 oder 20 Baud bis zu mehreren hundert Kilobaud. Die moderne Übertragungstechnik stellt für alle diese Geschwindigkeiten geeignete Übertragungskanäle zur Verfügung, z. B. Telegrafiekanäle, Telefonkanäle, Rundfunkkanäle oder die in der TF-Technik benutzten Kanäle für Grundgruppen, Übergruppen usw. Zum Ausnutzen solcher Kanäle für Datenübertragung werden Modulationseinrichtungen benötigt, in denen die getasteten Gleichstromsignale in das zur Übertragung verfügbare Frequenzband umgesetzt werden. Die Modulationseinrichtungen entsprechen den in der Wechselstromtelegrafie üblichen, und im Prinzip sind sie nicht anders aufgebaut als diese. Die Aufgabe ,,Datenübertragung" hat in aller Welt große Anstrengungen ausgelöst, Modulatoren und Demodulatoren (Modems) für höhere als bisher übliche Geschwindigkeiten zu entwickeln. Obwohl diese Modems häufig als ,,Datenübertragungssysteme" bezeichnet werden, darf man nicht übersehen, daß zur Datenverarbeitung wesentlich mehr gehört. Außer der erwähnten Sicherung gegen Übertragungsfehler und außer der Modulation können noch andere Funktionen nötig werden, wie Umcodierung, Anpassung des Übertragungstaktes an den Takt der Informationsquelle und Steuerung des Betriebsablaufs. Alle diese Aufgaben entstanden erst mit der Datenübertragung und müssen deswegen durch das Datenübertragungssystem gelöst werden, das, ganz allgemein gesprochen, die Aufgabe hat, übliche datenverarbeitende Geräte an bestehende Übertragungskanäle anzupassen.

2. Kennzeichnende Eigenschaften eines Datenübertragungssystems

Bild 1 zeigt ein Prinzipschaltbild, an dem die wichtigsten für die Anwendung eines Datenübertragungssystems kennzeichnenden Eigenschaften beschrieben werden können. Die Daten werden von der Nachrichtenquelle über einen gebräuchlichen Nachrichtenkanal der Nachrichtensenke zugeleitet. Das Datenübertragungssystem soll die von der Quelle angebotene Nachricht in eine für den Übertragungskanal geeignete Form bringen. Es ist zweckmäßig, diese Aufgabe auf drei Funktionsgruppen aufzuteilen: Im *Anpassungsgerät*, das für jede Nachrichtenquelle speziell auszulegen ist, werden die angebotenen Signale in eine für alle Quellen einheitliche Form gebracht. Im *Fehlerkorrekturgerät* werden der eigentlichen Nachricht Prüfzeichen hinzugefügt, die auf der Empfangsseite das Erkennen von Übertragungsfehlern zulassen. Außerdem werden hier die notwendigen Steuerfunktionen für ein Wiederholen der Nachricht durchgeführt, sofern das Gerät mit Fehlerkorrektur durch Wiederholung arbeitet. Im *Modulationsgerät* schließlich werden die als getasteter Gleichstrom vorliegenden Signale in das durch den Übertragungskanal gegebene Frequenzband umgesetzt. Außer dem Übertragungskanal für die Daten ist im allgemeinen ein Rückwärtskanal für Steuer- und Kontrollsignale nötig.

Dieses Aufteilen der Funktionen ist zweckmäßig, weil es eine große Flexibilität beim Anwenden des Datenübertragungssystems ergibt. Trotz der Vielfalt der existierenden Nachrichtenquellen und Übertragungskanäle und trotz der Verschiedenheit der Anforderungen bezüglich Übertragungssicherheit kann man mit einer beschränkten Anzahl von Geräten viele Aufgaben erfüllen. Das Unterteilen erfüllt allerdings nur dann seinen Zweck, wenn die Schnittstellen zwischen den einzelnen Geräten genau definiert sind. Diese Schnittstellen sollen im folgenden zusammen mit den kennzeichnenden Eigenschaften der einzelnen Glieder der Datenübertragungsstrecke behandelt werden.

2.1 *Nachrichtenquellen und -senken*

Nachrichtenquellen und -senken sind in jedem Fall Zwischenspeicher bzw. zugehörige Lesegeräte, gleichgültig, ob die Nachricht von einem Menschen oder von einer Maschine erzeugt wird. Da einige Eigenschaften dieser Zwischenspeicher für den Betriebsablauf der Datenübertragung von grundsätzlicher Bedeutung sind, sollen sie kurz besprochen werden.

Lochstreifen eignen sich als Zwischenspeicher zur Übertragung längerer Nachrichten, bei denen der Zeitverlust durch das Lochen vor der Übertragung in Kauf genommen werden kann. Eine übliche Lesegeschwindigkeit ist z. Z. etwa 400 Zeichen pro Sekunde im durchlaufenden Betrieb. Bei dieser Betriebsart kann das Lesegerät wegen der Trägheit der mechanischen Teile nicht mehr mit einem äußeren Takt synchronisiert werden, und der Takt der Übertragung wird somit durch das Gerät bestimmt. Wenn man in der Wahl des Übertragungstakts frei sein will, was z. B. beim Anwenden eines Fehlerkorrekturverfahrens mit automatischer Wiederholung einzelner Nachrichtenblocks nötig wird, muß das Gerät im Start-Stop-Betrieb eingesetzt werden. Das bedeutet nicht, daß in diesem Fall auch die Übertragung arhythmisch erfolgen muß, man kann die Nachricht mit beliebigem Takt übertragen, wenn man einen Zwischenspeicher für mindestens ein Zeichen zur Verfügung hat.

Streifenlocher gibt es bis zu Geschwindigkeiten von 300 Zeichen pro Sekunde für durchlaufenden Betrieb. Dabei muß der Locher die Möglichkeit haben, die Nachricht Schritt für Schritt mit seinem eigenen Takt abzurufen. Wenn die Nachricht von der Übertragungsstrecke kommt, also nicht abgerufen werden kann, muß der Locher im Start-Stop-Betrieb arbeiten, und es ist ein Zwischenspeicher erforderlich.

Lochkarten eignen sich für die Übertragung kurzer Nachrichten, bei denen der Zeitverlust durch das vorhergehende Lochen keine Rolle spielt. Der Nachrichteninhalt einer Karte beträgt z. B. $80 \times 12 = 960$ Bit, die mit einer Geschwindigkeit von etwa 400 Karten pro Minute entsprechend 6400 Bit pro Sekunde gelesen werden können. Auch hier müssen hinter dem Leser und vor dem Locher Zwischenspeicher vorgesehen werden, wenn der Übertragungstakt unabhängig vom Takt der Geräte frei gewählt werden soll.

Magnetband ist wieder ein Speicher für längere Nachrichten. Der Zeitverlust für die Vorbereitung des Bandes kann kleiner sein als bei Lochstreifen, da die Schreibgeschwindigkeit bis zum 10fachen der Lesegeschwindigkeit betragen kann.

Der Takt der Übertragung wird durch die Quelle gegeben. Ein Nachteil des Magnetbandes besteht z. Z. noch darin, daß es während der Übertragung nicht an einer beliebigen Stelle angehalten werden kann. Will man z. B. eine Fehlerkorrektur mit Blockwiederholung durchführen, so müssen diese Blocks auf dem Magnetband vorbereitet sein.

Empfangsseitig ist der Takt des Ausschreibens beliebig, so daß keine Zwischenspeicher nötig sind.

Magnettrommeln dürften als Quelle für eine Datenübertragung nur in Ausnahmefällen verwendet werden. Der Grund ist, daß die Übertragung entweder sehr schnell erfolgen müßte (z. B. mit 100000 Bit pro Sekunde entsprechend der Sendung der gesamten Nachricht einer Spur während einer Trommelumdrehung), oder aber sie müßte sehr langsam erfolgen (z. B. mit 50 Bit pro Sekunde, entsprechend der Sendung eines Bit pro Trommelumdrehung). Für dazwischenliegende Geschwindigkeiten ließen sich mit entsprechendem Aufwand gewiß Lösungen finden,

doch wäre dann der einfachste Weg, die Geschwindigkeitswandlung über einen Ferritkern-Zwischenspeicher vorzunehmen, der dann die eigentlich interessierende Nachrichtenquelle für die Übertragung darstellt.

Ferrit-Kernspeicher eignen sich wegen der großen möglichen Einschreibgeschwindigkeit besonders für eine direkte Übertragung zwischen Rechenmaschinen, bei denen es darauf ankommt, die Vorbereitungszeit, die für Band, Streifen und Karten erforderlich ist, abzukürzen. Bei der Übertragung aus Ferritspeichern sind keine besonderen Maßnahmen zum Anpassen des Taktes erforderlich.

Tastaturen und *Relaisspeicher* sind wegen ihrer geringen Speicherkapazität nur für kurze Nachrichten geeignet. Sie können mit beliebiger Geschwindigkeit abgetastet werden, so daß wie beim Ferritspeicher keine besonderen Maßnahmen zum Anpassen des Taktes erforderlich sind.

Bei der Vielzahl der möglichen Nachrichtenquellen wird die Schnittstelle zwischen der Quelle (bzw. Senke) und dem Anpassungsgerät von Fall zu Fall verschieden aussehen. Je nachdem, ob die Daten in Serie oder parallel angeboten werden, sind eine oder mehrere Informationsleitungen vorhanden. Außerdem wird in allen Fällen eine Leitung für den Zeichentakt benötigt. Wenn die Nachricht in Serie angeboten wird, muß noch eine weitere Leitung für den Schrittakt vorhanden sein. Je nach Betriebsart gehen die Taktsignale entweder von der Quelle (bzw. Senke) aus, oder sie gehen zu ihr hin.

2.2 *Anpassungsgeräte*

Im Anpassungsgerät des Senders wird die angebotene Information in eine einheitliche Form, z. B. in Serie gebracht. Außerdem können hier noch eine Anzahl anderer Funktionen ausgeführt werden, von denen einige kurz erwähnt seien:

Umcodieren, wenn die Nachricht in einer für die Übertragung schlecht geeigneten Form vorliegt, z. B., wenn numerische Information von Lochkarten übertragen werden soll, die im (1 aus 10)-Code gespeichert ist.

Anpassen des Taktes, wenn Nachrichtenquelle und Nachrichtensenke nicht auf den Übertragungstakt synchronisiert werden können.

Steuern des Betriebsablaufs durch Hinzufügen von Anfangs- und Schlußzeichen, Adressen, Zeichen zum Numerieren der Nachrichten usw.

Im Anpassungsgerät des Empfängers müssen die jeweils entsprechenden Funktionen ausgeführt werden.

Die Linie zwischen Anpassungsgerät und Fehlerkorrekturgerät wird auf der Sendeseite von drei Leitungen überquert: Eine Leitung für die Daten, eine für den Schrittakt und eine für ein Steuersignal zur Quelle hin. Das Steuersignal ist erforderlich, wenn das Fehlerkorrekturgerät mit Blockwiederholung arbeitet. Dann muß die Nachrichtenquelle nämlich beim Vorkommen eines Übertragungsfehlers angehalten werden. Der Schrittakt kann entweder vom Anpassungsgerät zum Fehlerkorrekturgerät übertragen werden, für den Fall, daß die Quelle nicht auf einen äußeren Takt synchronisiert werden kann (z. B. bei Lochstreifenlesern), oder er kann vom Fehlerkorrekturgerät zum Anpassungsgerät übertragen werden, wenn es möglich ist, die Nachricht Schritt für Schritt aus der Quelle abzurufen (z. B. bei Ferrit-Kernspeichern).

Auf der Empfangsseite wird die Trennungslinie von den entsprechenden Leitungen überquert.

2.3 *Fehlerkorrekturgeräte*

Die Wahl des Fehlerkorrekturverfahrens richtet sich nach der geforderten Fehlersicherheit, der Störanfälligkeit des Übertragungskanals und der Art der zu übertragenden Nachricht. Man kann zwei grundsätzlich verschiedene Methoden der Fehlerkorrektur unterscheiden. Bei der einen codiert man die Nachricht in einen fehlerkorrigierenden Code, der es gestattet, auf der Empfangsseite die Lage des Fehlers in der Nachricht festzustellen und sie somit ohne Wiederholung zu korrigieren. Die andere Methode ist dadurch gekennzeichnet, daß im Störungsfall die ganze Nachricht oder Teile von ihr wiederholt werden. Hier genügt ein fehlererkennender Code, nach dessen Auswerten im Fall eines Fehlers die Wiederholung automatisch oder von Hand eingeleitet wird.

Die erste Methode mit einem fehlerkorrigierenden Code hat den Vorteil, daß keine Signale zur Sendestelle zurückgegeben werden müssen und somit nur *eine* Übertragungsrichtung erforderlich ist. Dafür ist aber die Redundanz der zu verwendenden Codes sehr groß, besonders wenn eine hohe Fehlersicherheit verlangt wird; daher hat diese Methode nur geringe Bedeutung gegenüber der Fehlerkorrektur durch Wiederholung. Von diesem Verfahren gibt es mehrere Varianten. Im allgemeinen wird die Nachricht in Blocks unterteilt, die nach einem bestimmten Schema durch Hinzufügen von Prüfschritten geschützt werden. Die Prüfschritte können entweder mit der Nachricht übertragen und auf der Empfangsseite mit den dort nach demselben Schema abgeleiteten Prüfschritten verglichen werden, oder man kann die auf der Sendeseite abgeleiteten Prüfschritte bei der Sendestelle speichern und mit den empfangsseitig abgeleiteten vergleichen, nachdem diese zur Sendestelle zurückübertragen wurden. In beiden Fällen kann man einen Block erst dann senden, wenn der vorhergehende als richtig erkannt worden ist, oder man kann die Blocks fortlaufend senden und im Fall eines Übertragungsfehlers den fehlerhaften Block in die laufende Übertragung einblenden.

Diese verschiedenen Verfahren wurden in einem Beitrag von *H. Marko* [1] ausführlicher diskutiert. Sie haben alle gemeinsam, daß beim Sender und auch beim Empfänger im Fehlerkorrekturgerät Speicher für die Nachrichtenblocks und die zugehörigen Prüfschritte vorhanden sein müssen. Außerdem muß ein Rückkanal zur Verfügung stehen, über den dem Sender ein Wiederholungszeichen bzw. die vom Empfänger abgeleiteten Prüfschritte zugeführt werden können. Schließlich muß bei allen Verfahren mit Blockwiederholung die Möglichkeit bestehen, die Nachrichtenquelle bei einer Störung anzuhalten bzw. den Nachrichtenfluß zur Senke zu unterbrechen.

Das Fehlerkorrekturgerät ist mit dem Modulationsgerät (bzw. dem Demodulationsgerät) im allgemeinen durch drei Leitungen zu verbinden, über die in der in Bild 1 angegebenen Richtung die Daten, der Takt und das Bestätigungssignal übertragen werden.

Obwohl nur in Ausnahmefällen ein zwingender Grund besteht, den Übertragungstakt im Modulationsgerät zu erzeugen, ist es doch zweckmäßig, dies immer zu tun. Da das Modulationsgerät am engsten mit dem Übertragungskanal zusammenarbeitet, durch den die Übertragungsgeschwindigkeit begrenzt wird, ist es naheliegend, diese Geschwindigkeit im Modulationsteil zu bestimmen. Auf der Empfangsseite muß der Übertragungstakt aus der ankommenden Nachricht abgeleitet werden. Das geschieht zweckmäßig im Demodulationsgerät, und daher muß der Takt von dort zum nachgeschalteten Gerät weitergeleitet werden.

2.4 *Modulations- und Demodulationsgeräte*

Zum Modulieren der getasteten Gleichstromsignale sind eine große Anzahl von Verfahren bekannt, die sich durch die bei gegebener Bandbreite erreichbare Telegrafiergeschwindigkeit, durch die Störanfälligkeit und den Geräteaufwand unterscheiden. Für einen Vergleich dieser Verfahren sei auf die Arbeiten von *Sunde* [2], *Montgomery* [3], *Held* [4] und *Marko* [1] verwiesen. Im Hinblick auf die Betriebseigenschaften lassen sich zwei Gruppen von Modulationsverfahren unterscheiden, nämlich solche, bei denen die Tastung synchron mit dem Träger erfolgen muß und solche, bei denen kein Synchronismus erforderlich ist. Obwohl die Verfahren der ersten Gruppe in mancher Hinsicht Vorteile haben, wird man für den Aufbau eines mög-

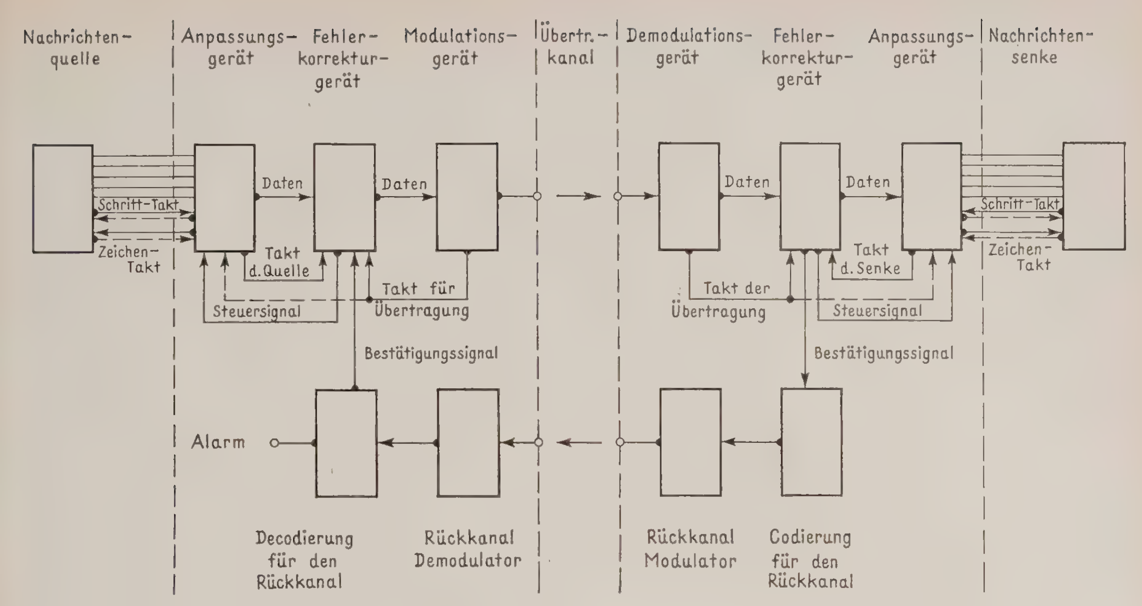


Bild 1. Prinzipschaltbild eines Datenübertragungssystems.

lichst universellen Datenübertragungssystems die Verfahren mit asynchroner Tastung vorziehen, weil sie es gestatten, die Modulationsgeschwindigkeit in gewissen Grenzen zu variieren.

Auf der Empfangsseite wird der Schrittakt, der zum Decodieren bzw. Zwischenspeichern benötigt wird, im Demodulationsgerät abgeleitet. Da das Auslegen der hierzu erforderlichen Schaltungen ebenso wie die des Demodulators wesentlich durch die Modulationsgeschwindigkeit bestimmt wird, ist diese Zuordnung vorteilhaft. Das nachgeschaltete Fehlerkorrekturgerät und das Anpassungsgerät enthalten im allgemeinen keine Schaltkreise, deren Dimensionierung von der Übertragungsgeschwindigkeit abhängt, daher kann man diese Geräte unverändert für einen großen Bereich von Geschwindigkeiten verwenden. Noch ein anderer Grund spricht für die Zuordnung der Taktgewinnung zum Demodulator. In Fällen, in denen Daten über mehrere Modulationsabschnitte übertragen werden sollen, können die Zeichen am Ende jedes Abschnittes regeneriert werden, wenn der Takt im Demodulator vorhanden ist.

Das Modulationsgerät und das Demodulationsgerät enthalten außer dem Modulator bzw. Demodulator für den Datenkanal auch noch einen solchen für den Rückkanal.

3. Bestimmende Faktoren für die Auslegung von Datenübertragungssystemen

Je nach Anwendungsfall wird man von einem Datenübertragungssystem verschiedene der oben beschriebenen Funktionen verlangen. Von den bestimmenden Faktoren, die durch den Anwendungsfall gegeben sind, sollen als wichtigste Nachrichtenvolumen, Ursprung und Bestimmung, Länge und Dringlichkeit der Nachrichten betrachtet werden.

3.1 *Nachrichtenvolumen*

Bei großen Nachrichtenvolumen, die zwischen zwei Endstellen übertragen werden müssen, liegt es nahe, hohe Übertragungsgeschwindigkeiten zu verwenden, um den anfallenden Verkehr in Grenzen zu halten und damit Leitungskosten zu sparen. Der Gesichtspunkt der Dringlichkeit der Übertragung tritt demgegenüber in vielen Fällen zurück.

Die Entscheidung, ob gewählte oder fest geschaltete Leitungen zur Übertragung verwendet werden, hängt in erster Linie vom Verkehrswert ab, also vom Nachrichtenvolumen und der Übertragungsgeschwindigkeit. Für kleine Verkehrswerte wird man gewählte Verbindungen benutzen, feste Verbindungen lohnen sich erst bei großen Verkehrswerten.

Durch die Entscheidung, ob fest geschaltete oder gewählte Verbindungen verwendet werden, hat das Nachrichtenvolumen auch einen Einfluß auf die Fehlerkorrektur, denn bekanntlich sind gewählte Verbindungen viel stärker gestört als fest geschaltete und erfordern somit einen wirksameren Fehlerschutz.

Für die Aufwendigkeit des Fehlerschutzes sind nicht nur die verwendeten Leitungen und damit indirekt das Nachrichtenvolumen maßgebend, sondern auch andere Faktoren, wie z. B. der Ursprung und die Bestimmung der Nachricht.

3.2 *Ursprung und Bestimmung der Nachricht*

Die zu übertragenden Daten können entweder von Menschen oder von Maschinen herrühren bzw. zum Auswerten durch Menschen oder Maschinen bestimmt sein.

Direkt vom Menschen herrührende Daten weisen eine verhältnismäßig große Zahl von Fehlern auf (Richtwert: 1 Zeichen von 1000), und es hat keinen Sinn, die Übertragung um Größenordnungen über dieses Maß hinaus zu schützen. Anders ist es dagegen mit Nachrichten, die von Rechenmaschinen herrühren. Man kann hier mit viel kleineren Fehlerraten rechnen, da die in Rechenmaschinen eingegebenen Werte mehrfach überprüft sind und beim Rechenvorgang selbst verschwindend wenig Fehler entstehen. Dementsprechend muß auch die Übertragung solcher Nachrichten geschützt werden.

Eine weitere häufige Eigenschaft von Nachrichten, die direkt vom Menschen herrühren bzw. zur unmittelbaren Auswertung durch den Menschen bestimmt sind, ist ihre verhältnismäßig große Redundanz. Es ist daher oft nicht sinnvoll, für eine geschützte Übertragung noch mehr Redundanz zu addieren, sondern man wird anhand der ohnehin enthaltenen Redundanz die decodierte Nachricht erst am Bestimmungsort überprüfen und berichtigen; dabei wird die Nachricht im allgemeinen durch Wiederholung berichtigt.

3.3 *Länge der Nachricht*

Von der Länge der Nachricht hängt es ab, wie diese Wiederholung vorgenommen wird.

Kurze Nachrichten (etwa unter 500 Bit) wird man im allgemeinen als ganzes wiederholen. Damit fällt das Problem der Identifizierung des gestörten Zeichens auf der Sendeseite weg, und man kann ohne allzu großen Zeitverlust die Wiederholung von Hand einleiten.
Bei langen Nachrichten ist eine Wiederholung im ganzen nicht mehr tragbar, denn die Wahrscheinlichkeit, daß in der Nachricht ein Fehler auftritt, ist größer, und der Zeitverlust durch die Wiederholung ist ebenfalls größer. Deshalb teilt man die Nachricht in geeignete Blocks von z. B. 100 Bit ein, die beim Auftreten eines Fehlers wiederholt werden. Hier hat das automatische Einleiten der Wiederholung wesentliche Vorteile, denn es ist mühsam und mit großem Zeitverlust verbunden, den zu wiederholenden Block von Hand aus der gesamten Nachricht herauszusuchen bzw. auf der Empfangsseite den wiederholten Block an der richtigen Stelle einzuordnen.

3.4 *Dringlichkeit der Nachricht*

Unter dringlichen Nachrichten seien hier solche verstanden, deren Bearbeitung sofort nach Eingang beginnt, und die innerhalb kürzester Zeit (z. B. einiger Sekunden) eine Entscheidung verlangen. Dringliche Nachrichten erfordern kurze Übertragungs- und Vorbereitungszeit. Deswegen müssen sie über fest geschaltete Leitungen mit hoher Geschwindigkeit übertragen werden.

4. Typische Einsatzfälle für die Datenübertragung

Im folgenden soll versucht werden, Datenübertragungssysteme im Hinblick auf ihre Anwendung einzuteilen. Obwohl eine solche Einteilung nicht umfassend sein kann, gibt sie einen Anhalt dafür, wie die jeweilige Aufgabenstellung die kennzeichnenden Eigenschaften eines Systems bestimmt.

4.1 *Systeme zum Herstellen von Duplikaten gespeicherter Information*

Systeme dieser Art dienen dazu, am fernen Ort Duplikate von Lochstreifen, Lochkarten oder Magnetbändern herzustellen, die dort durch eine Rechenmaschine auszuwerten sind. Eine solche Anwendung ist z. B. gegeben, wenn Unterlagen über Lohnabrechnung, Kassenumsätze, Versicherungsverträge usw. einer zentralen Stelle zugeleitet werden sollen. In allen diesen Fällen ist das Nachrichtenvolumen so groß, daß sich die Verwendung hoher Geschwindigkeiten zum Einsparen von Leitungskosten lohnt. Es ist aber nicht immer so groß, daß fest geschaltete Leitungen rentabel wären. Die Information stammt oft aus Rechenmaschinen, ist also fehlerarm und wenig redundant. Die Dringlichkeit der Übertragung ist mäßig, da auf der Sendeseite ohnehin Vorbereitungszeit gebraucht wird.
Diese Faktoren bestimmen die typischen Eigenschaften solcher Systeme: Übertragung auf gewählten oder fest geschalteten Leitungen mit hoher Geschwindigkeit und Verwendung wirksamer Fehlerschutzverfahren, Wiederholung je nach Nachrichtenlänge automatisch oder von Hand.

4.2 *Systeme zur Sammlung von Daten*

Solche Systeme sind dadurch gekennzeichnet, daß von einer zentralen Stelle kurze Nachrichten von vielen Außenstellen gesammelt werden. Ein typisches Anwendungsbeispiel ist die Durchgabe von Bestellungen zu einem Auslieferungslager. Die empfangenen Daten können auf Lochkarten gespeichert werden; alle mit der Bestellung verbundenen Buchungsvorgänge lassen sich automatisch erledigen. Bestimmende Faktoren in solchen Anwendungsfällen sind geringes Nachrichtenvolumen, kurze Einzelnachrichten, menschlicher Ursprung und mäßige Dringlichkeit. Deshalb arbeiten solche Systeme auf gewählten Leitungen mit verhältnismäßig kleiner Geschwindigkeit. An den Fehlerschutz werden keine großen Anforderungen gestellt, und die Fehlerkorrektur kann von Hand erfolgen. Die Anforderungen an ein solches System sind also nicht sehr hoch, und dementsprechend lassen sich billige Lösungen finden, die wegen der großen Zahl der Außenstellen und ihrer schlechten Ausnutzung auch unbedingt erforderlich sind.

4.3 *Auskunftsysteme*

Bei Auskunftsystemen geht es darum, von vielen Außenstellen kurze Anfragen an eine Zentrale zu richten, die sie sofort bearbeitet und beantwortet. Die Nachrichten müssen also mit großer Dringlichkeit übertragen werden. Übermäßige Anforderungen an die Fehlersicherheit sind nicht gerechtfertigt, da die Anfragen von Hand eingegeben werden. Falls doch ein Fehlerschutzverfahren verwendet wird, kann die Fehlerkorrektur durch Wiederholen der ganzen Nachricht von Hand erfolgen. Das Nachrichtenvolumen einer einzelnen Außenstelle ist gering. Diese Aufgabenstellung führt zu einem Dilemma: Einerseits muß man wegen der Dringlichkeit der Nachricht Schnellübertragung verwenden und darf — wegen des Zeitverlustes durch den Verbindungsaufbau — keine gewählten Leitungen benutzen. Andererseits wäre wegen des geringen Nachrichtenvolumens eine langsame Übertragung über gewählte Leitungen viel wirtschaftlicher. Eine Entscheidung für die eine oder die andere Lösung hängt davon ab, wie hoch eine kurze Antwortzeit bewertet wird.
Für manche Fälle bietet sich folgender Ausweg: Wenn viele Außenstellen am selben Ort liegen, kann man den Verkehr konzentrieren, so daß sich für die eigentliche Datenübertragung fest geschaltete Leitungen und möglicherweise auch Schnellübertragung lohnen. Als Anwendungsbeispiele seien die Anfrage wegen Platzreservierung in Verkehrsmitteln oder wegen des Kontenstandes von Bankkunden genannt.

4.4 *Überwachungssysteme*

Überwachungssysteme dienen zum Übertragen ständig anfallender Nachrichten von einer Beobachtungsstelle zu einer Zentrale, die die Beobachtungen sofort auswertet. Diese Aufgabenstellung liegt z. B. bei der Luftraumüberwachung vor oder auch beim Überwachen und Auswerten der Testflüge von Flugzeugen und Raketen. Das Nachrichtenvolumen ist in solchen Fällen groß, und die Nachrichten haben hohe Dringlichkeit. Deswegen ist eine Schnellübertragung auf fest geschalteten Leitungen naheliegend. Da es sich um die ständige Übertragung von Meßwerten handelt, ergibt sich eine große Redundanz, und es genügt — falls überhaupt ein Fehlerschutz vorgesehen wird — eine Fehlererkennung. Eine als falsch erkannte Nachricht wird dann einfach nicht ausgewertet.
In diese Kategorie von Datenübertragungssystemen gehört der Übertragungsteil des SAGE-Systems. Durch dieses System werden alle Radarstationen, die im Dienste der amerikanischen Luftraumüberwachung stehen, mit einer zentralen Stelle verbunden. Hier wird die Identität der gemeldeten Flugzeuge überprüft. Dazu werden die empfangenen Daten mit denen über vorher gemeldete Flüge in einer Rechenmaschine verglichen.

5. Beispiel eines flexiblen Systems zur fehlersicheren Übertragung von Daten

Im folgenden soll als konkretes Beispiel zu diesem Problemkreis ein von Standard Elektrik Lorenz entwickeltes Datenübertragungssystem erwähnt werden.

5.1 *Entwicklungsziel*

Das Ziel der Entwicklung war ein möglichst universell verwendbares System zur gesicherten Übertragung von Daten. Die Forderung nach universeller Verwendbarkeit bedingt, daß beliebig codierte Nachrichten übertragen werden müssen. Außerdem sollte das System zur Zusammenarbeit mit möglichst vielen unterschiedlichen Nachrichtenquellen und -senken geeignet sein.
Der wichtigste Anwendungsfall ist die Übertragung großer Nachrichtenmengen, z. B. von Lochstreifen oder Loch-

karten, von denen auf der Empfangsseite Duplikate hergestellt werden sollen. Das System soll jedoch auch zur direkten Übertragung zwischen Rechenmaschinen geeignet sein, wie sie z. B. bei Auskunftsystemen notwendig ist. Als Übertragungsweg sollen normalerweise Telefonkanäle dienen, und zwar gemietete Leitungen oder das öffentliche Telefonnetz. Im letzteren Fall ist für binäre Übertragung die obere Grenze der Modulationsgeschwindigkeit mit etwa 1000 Baud gegeben, da die Eigenschaften des Übertragungskanals (Laufzeit- und Dämpfungsgang) je nach der gerade hergestellten Verbindung verschieden sein können und man mit dem ungünstigsten Fall rechnen muß. Bei gemieteten Leitungen ist die erreichbare Geschwindigkeit höher (über 2000 Baud), da man hier Laufzeit- und Dämpfungsverzerrungen ausgleichen kann. Um in allen Fällen die Leitungen voll ausnützen zu können, soll die Möglichkeit bestehen, die Übertragungsgeschwindigkeit durch Auswechseln des Modulationsteils zu verändern.

Beim Aufstellen der Forderung für die Sicherheit der Übertragung ging man davon aus, daß bei 24stündigem Betrieb im Mittel nicht mehr als ein Zeichen fehlerhaft übertragen werden darf, und zwar soll dieses Ziel auch für die bei den schlechtesten Verbindungen vorkommenden Störungen erreicht werden. Dieser Forderung entspricht bei einer Übertragungsgeschwindigkeit von 1000 Baud und einer Zeichenlänge von fünf Schritten eine Zeichenfehlerwahrscheinlichkeit von etwa 10^{-7}. Wenn man bedenkt, daß man auf Leitungen des öffentlichen Telefonnetzes mit mittleren Zeichenfehlerwahrscheinlichkeiten von ca. 10^{-3} rechnen muß und häufige kurzzeitige Störeinbrüche von einigen hundert Millisekunden Dauer eintreten können, in denen praktisch jede Schrittfehlerwahrscheinlichkeit bis zu 0,5 vorkommen kann, dann wird klar, daß die Hauptaufgabe bei der Entwicklung des Datenübertragungssystems für diesen Einsatz im Aufbau eines geeigneten Fehlerkorrekturgerätes bestand.

5.2 *Planungsgrundlagen für das Fehlerkorrekturgerät*

In einem früheren Beitrag [1] wurden grundsätzliche Überlegungen zur Planung eines Fehlerkorrekturgeräts hoher Sicherheit für den Einsatz auf gewählten Telefonverbindungen behandelt. Ausgangspunkt dieser Überlegungen waren Untersuchungen der Störgeräusche bei gewählten Telefonverbindungen, die im wesentlichen durch Modulation des Kontaktstroms der durchgeschalteten Wähler infolge mechanischer Erschütterungen entstehen. Aufgrund der Statistik des Störgeräusches kam der Verfasser zu dem Schluß, daß ein Fehlerkorrekturgerät für solche Leitungen in der Lage sein muß, im Bereich jeder beliebigen Schrittfehlerwahrscheinlichkeit von 0 bis 0,5 die Fehler mit der geforderten Sicherheit zu korrigieren. Die Betrachtungen führten zum Vorschlag eines Systems, das mit Fehlerkorrektur durch Blockwiederholung im Fall eines Übertragungsfehlers arbeitet. Für eine höchste zulässige Zeichenfehlerwahrscheinlichkeit von 10^{-7} bis 10^{-8} ergab sich eine optimale Blocklänge von etwa 100. Als geeignetes Codierungsverfahren wurde vorgeschlagen, jede Zeile, Spalte und Diagonale des in eine Speichermatrix geschriebenen Nachrichtenblocks durch einen Prüfschritt zu schützen.

Das vorgeschlagene System arbeitet mit Fehlererkennung auf der Empfangsseite, deshalb werden die Prüfschritte mit der Nachricht übertragen. Dem Sender wird das Ergebnis der Prüfung über einen Rückkanal zugeleitet. Um Übertragungszeit zu sparen, wartet man mit dem Senden eines Nachrichtenblocks nicht auf das Bestätigen des vorhergehenden Blocks, sondern die Nachricht wird ständig gesendet. Nur wenn ein Wiederholen nötig ist, wird der Nachrichtenfluß unterbrochen, und die Nachricht wird vom gestörten Block ab wiederholt. Nach diesem Planungsvorschlag wurde bei SEL ein Datenübertragungssystem mit automatischer Fehlerkorrektur entwickelt, das dem unter 5.1 angegebenen Ziel genügt.

Die in [1] mitgeteilten Planungsgrundlagen wurden inzwischen ergänzt und abgerundet. In jener Arbeit wurde aus den charakteristischen Eigenschaften der *Leitungsgeräusche* ein geeignetes Codierungsverfahren abgeleitet. Nun wurden unter Verwendung eines Frequenzmodulationsgeräts auf geschalteten Telefonleitungen *Fehlermessungen* durchgeführt, die die damaligen Schlußfolgerungen bestätigen.

Eine der kennzeichnenden Größen für die Störanfälligkeit einer binären Übertragungsstrecke (Übertragungskanal mit Modulator und Demodulator) ist das über eine lange Zeit gemessene Verhältnis der fehlerhaft übertragenen Schritte zur Gesamtzahl der Schritte, das als Schrittfehlerwahrscheinlichkeit p_E bezeichnet sei. Mit der bloßen Angabe von p_E sind die Eigenschaften der Übertragungsstrecke aber noch nicht hinreichend gekennzeichnet, denn diese Größe sagt noch nichts über die Verteilung der Fehler in der Zeit aus. Da bei vielen Verfahren der Fehlerkorrektur die Nachricht in Gruppen (Blocks) von Stromschritten codiert wird, ist es zweckmäßig, außer der Schrittfehlerwahrscheinlichkeit p_E die Blockfehlerwahrscheinlichkeit p_B als das Verhältnis der Anzahl der mit mindestens einem Fehler übertragenen Blocks zur Gesamtzahl der Blocks zu definieren. p_B ist natürlich nicht nur von den Eigenschaften der Übertragungsstrecke, sondern auch von der gewählten Anzahl der Schritte pro Block abhängig, die mit n bezeichnet sei. Die Angabe von p_B und p_E enthält schon eine gewisse Aussage über die Fehlerverteilung. Für eine bestimmte Schrittfehlerwahrscheinlichkeit p_E ergibt sich nämlich eine um so kleinere Blockfehlerwahrscheinlichkeit p_B, je dichter die Fehler gebündelt sind.

Mit p_E und p_B kann man eine andere wichtige Größe definieren, nämlich die Schrittfehlerwahrscheinlichkeit für gestörte Blocks, p_{EB}. Sie gibt das Verhältnis der durchschnittlichen Fehlerzahl in gestörten Blocks zur Anzahl n der Schritte pro Block an. Aus den Definitionen folgt

$$p_E = p_B \cdot p_{EB}. \tag{1}$$

Wenn die Verteilung der Fehler in der ganzen Übertragungszeit dem Gesetz des Zufalls gehorcht — das ist z. B. bei einer Störung durch Wärmerauschen der Fall —, dann kann man p_B bei vorgegebenem p_E aus der Bernoullischen Wahrscheinlichkeitsverteilung ermitteln. Nach *Bernoulli* ergibt sich dann die Wahrscheinlichkeit, daß in einem Block von n Schritten e Schritte fehlerhaft sind zu

$$B(e) = \binom{n}{e} \cdot p_E^{\,e} \cdot (1 - p_E)^{n-e}. \tag{2}$$

Die Blockfehlerwahrscheinlichkeit p_B ergibt sich als Summe der Wahrscheinlichkeiten dafür, daß $e = 1$ bis $e = n$ Schritte gestört sind, also:

$$p_B = \sum_{e=1}^{e=n} \binom{n}{e} p_E^{\,e} (1 - p_E)^{n-e} = 1 - (1 - p_E)^n. \tag{3}$$

Daraus folgt mit Gl. (1)

$$p_{EB} = \frac{p_E}{1 - (1 - p_E)^n}. \tag{4}$$

p_B und p_{EB} nach Gl. (3) und Gl. (4) sind in Bild 2 als Funktion der Blocklänge n für eine Schrittfehlerwahrscheinlichkeit von $p_E = 1{,}45 \cdot 10^{-3}$ aufgetragen (gestrichelte Kurven). Bei einer Blocklänge von $n = 63$, mit der das unten beschriebene Gerät arbeitet, ergeben sich

$$p_B = 9{,}2 \cdot 10^{-2} \text{ und } p_{EB} = 1{,}6 \cdot 10^{-2}.$$

Diese Werte gelten nur für den Fall, daß die Übertragungsfehler durch Wärmerauschen verursacht werden. Nun ist aber bekannt, daß in den meisten Fällen andere Störungsursachen bestimmend sind. Dies wird veranschaulicht durch Fehlermessungen, die auf Ortsverbindungen im

Stuttgarter Telefonnetz durchgeführt wurden. Über eine bestimmte Verbindung wurde bei einer Modulationsgeschwindigkeit von 800 Baud eine Schrittfehlerwahrscheinlichkeit von $p_E = 1{,}45 \cdot 10^{-3}$ gemessen. Gleichzeitig wurde mit elektronischen Zählern festgestellt, welche Blockfehlerwahrscheinlichkeit sich bei Unterteilung der Nachricht in Blocks der Länge n ergeben hätte. Die gemessenen Werte von p_B und die daraus nach Gl. (1) berechneten Werte von p_{EB} sind ebenfalls in Bild 2 über n aufgetragen. Für $n = 63$ ergeben sich

$$p_B = 2{,}4 \cdot 10^{-2} \text{ und } p_{EB} = 6{,}2 \cdot 10^{-2}.$$

Ein Vergleich mit den theoretisch für eine Störung durch Wärmerauschen gültigen Werten ergibt, daß wegen der Bündelung der Störungen auf der gemessenen Verbindung p_B um den Faktor 4 kleiner, p_{EB} dagegen um den Faktor 4 größer ist. Das bündelweise Auftreten der Fehler ist also günstig für ein Korrekturverfahren mit Blockwiederholung, denn die Anzahl der zu wiederholenden Blocks ist kleiner als bei einer Zufallsverteilung der Fehler. Andererseits ist die mittlere Zahl der Fehler pro gestörtem Block um denselben Faktor größer. Im erwähnten Beispiel ergibt sich für die Zufallsverteilung eine durchschnittliche Zahl von $n \cdot p_{EB} = 1$ Fehler je gestörtem Block, während sich aus den Messungen ein Durchschnittswert von 4 Fehlern je gestörtem Block ergibt. Das bedeutet, daß wegen der Bündelung der Störungen ein wirksameres Codierungsverfahren angewendet werden muß, als dies bei Störungen durch Wärmerauschen der Fall wäre.

Die Angabe der Schrittfehlerwahrscheinlichkeit in fehlerhaften Blocks p_{EB}, bzw. die durchschnittliche Zahl der

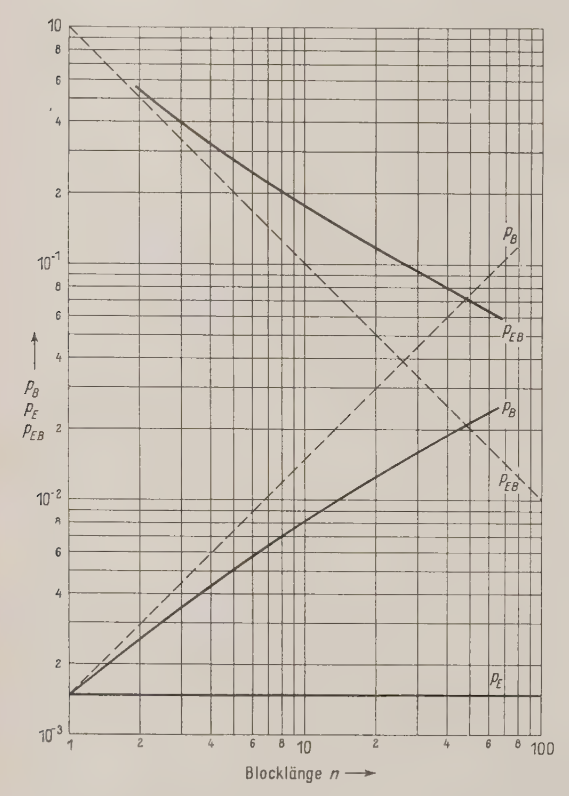


Bild 2. Blockfehlerwahrscheinlichkeit p_B und Schrittfehlerwahrscheinlichkeit in gestörten Blocks, p_{EB}, als Funktion der Blocklänge n bei einer Schrittfehlerwahrscheinlichkeit von $p_E = 1{,}45 \cdot 10^{-3}$.

– – – – – – Gerechnete Kurven für Wärmerauschen
——— Im Ortsnetz Stuttgart gemessene Kurven.

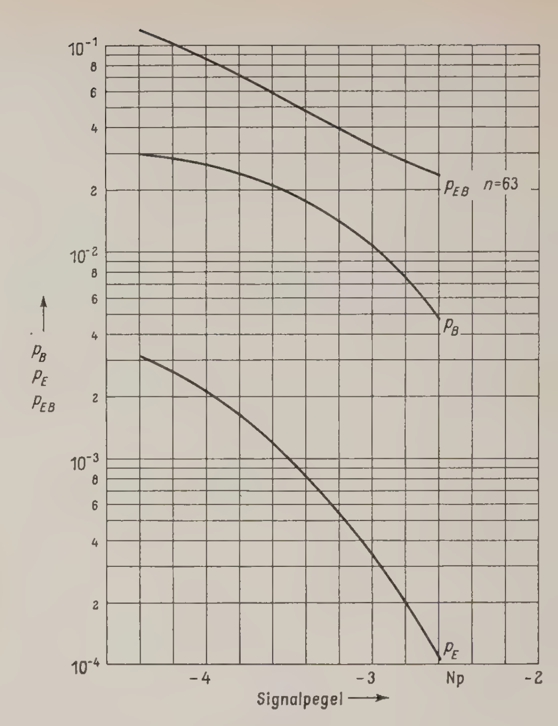


Bild 3. Schrittfehlerwahrscheinlichkeit p_E, Blockfehlerwahrscheinlichkeit p_B und Schrittfehlerwahrscheinlichkeit in gestörten Blocks p_{EB} als Funktion des Signalpegels am Leitungswähler. Meßkurven für eine Verbindung des Ortsnetzes Stuttgart.

Fehler je fehlerhaftem Block läßt schon eine rohe Abschätzung des Aufwandes für die Codierung zu. Daher ist es wichtig, sich Klarheit darüber zu verschaffen, in welchem Bereich diese Größe bei gegebener Blocklänge variieren kann. Die im Stuttgarter Ortsnetz durchgeführten Messungen zeigten, daß p_{EB} sehr stark vom Signalpegel abhängt. In Bild 3 ist p_{EB} für eine Blocklänge von 63 Schritten über dem Signalpegel am Leitungswähler der untersuchten Verbindung aufgetragen. Man erkennt, daß im interessierenden Pegelbereich p_{EB} mit zunehmendem Signalpegel von 0,12 auf 0,022 abfällt, d. h. daß die mittlere Zahl der Fehler in fehlerhaften Blocks zwischen 7,5 und 1,4 variiert. Dieser Zusammenhang ist physikalisch so zu erklären, daß aus einer Kette von Störimpulsen bei großem Signalpegel nur wenige Impulse die Ansprechschwelle im Empfänger überschreiten, d. h. daß die Fehler weniger dicht gebündelt sind. Außerdem nimmt die Gesamtzahl der falschen Schritte bzw. Blocks ab, wie die Kurven für p_E bzw. p_B in Bild 3 zeigen.

Da der Signalpegel am Leitungswähler und damit p_{EB} je nach der gerade gewählten Verbindung unterschiedlich sind, muß man das Codierungsverfahren so wählen, daß die geforderte Fehlersicherheit auch für den ungünstigsten Fall gewährleistet ist.

Die für den Betrieb eines Fehlerkorrekturgeräts interessierende Größe ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein empfangener Block einen nicht erkennbaren Fehler enthält. Diese Größe sei mit p_B^* bezeichnet. Würde keine Fehlerkorrektur angewendet, so wäre p_B^* gleich der Blockfehlerwahrscheinlichkeit p_B. Durch die Fehlerkorrektur wird dieser Wert um einen Faktor R reduziert, d. h.

$$p_B^* = R \cdot p_B \,. \tag{5}$$

Der Reduktionsfaktor R gibt an, welcher Anteil der falschen Blocks nichterkennbare Fehlerkombinationen enthält. Er ist also von der statistischen Verteilung der Fehler

auf die Blocks und von den fehlererkennenden Eigenschaften der Codierung abhängig. Die Verteilung der Fehler ist eine Eigenschaft der binären Übertragungsstrecke, die man anschaulich durch die Verteilungsfunktion $b(e)$ darstellen kann. Dabei gibt b die Wahrscheinlichkeit dafür an, daß ein falscher Block gerade e Fehler hat. Mit dieser Definition gelten folgende Gleichungen:

$$\sum_{e=1}^{e=n} b(e) = 1; \quad \sum_{e=1}^{e=n} e \cdot b(e) = n \cdot p_{EB}. \qquad (6,7)$$

Dabei ist n die Blocklänge.
Die fehlererkennenden Eigenschaften eines Codierungsverfahrens lassen sich durch eine Funktion $r(e)$ kennzeichnen, die angibt, welcher Anteil der insgesamt möglichen Kombinationen von e Fehlern innerhalb des Blocks nicht erkannt werden können.

Wenn man annimmt, daß innerhalb eines Blocks alle Fehlerkombinationen, die eine bestimmte Fehlerzahl e enthalten, gleich häufig auftreten, dann kann man die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer nicht erkennbaren Fehlerkombination mit e Fehlern als $r(e) \cdot b(e)$ ausdrücken. Die Zulässigkeit dieser Annahme bei der für die Planung möglichen Genauigkeit wurde durch die Meßergebnisse bestätigt. Damit ergibt sich der Reduktionsfaktor R zu

$$R = \sum_{e=1}^{e=n} r(e) \cdot b(e). \qquad (8)$$

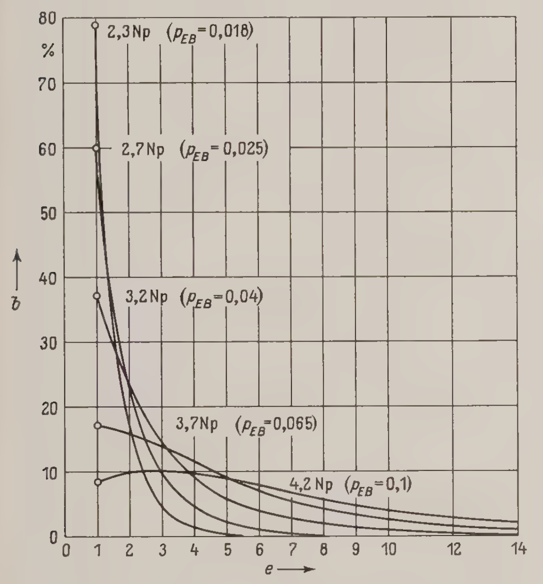


Bild 4a. Verteilung der Wahrscheinlichkeit b für das Auftreten von e Fehlern in gestörten Blocks. Blocklänge $n = 63$ Schritte. Meßkurven für eine Verbindung des Ortsnetzes Stuttgart. Parameter: Signalpegel am Leitungswähler.

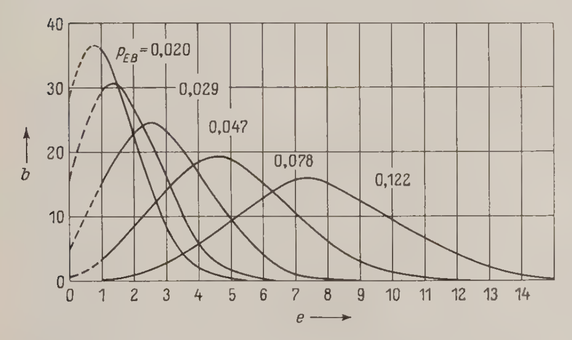


Bild 4b. Verteilung der Wahrscheinlichkeit b für das Auftreten von e Fehlern in gestörten Blocks. Blocklänge $n = 63$ Schritte. Rechenkurven für Zufallsverteilung in den gestörten Zeiten (Bernoulli-Verteilung). Parameter: Schrittfehlerwahrscheinlichkeit für gestörte Blocks p_{EB}.

Die Aufgabe bei der Auswahl eines geeigneten Codierungsverfahrens ist, R möglichst klein zu machen. Man könnte das erreichen wollen, indem man bei gegebenem Aufwand für die Codierung $r(e)$ möglichst komplementär zu $b(e)$ wählt, d. h. den Code so aufbaut, daß die häufig vorkommenden Fehlerzahlen mit größerer Wahrscheinlichkeit erkannt werden als die seltenen. Das wäre sinnvoll, wenn alle bei der Datenübertragung vorkommenden Übertragungsstrecken durch eine einzige b-Verteilungskurve beschrieben werden könnten. Jedoch ist die Lage des Maximums der b-Verteilungskurven und ihre Form von p_{EB} und damit gemäß Bild 3 vom Signalpegel am Leitungswähler abhängig. Diese Abhängigkeit geht aus Bild 4a hervor, wo einige bei verschiedenen Pegeln im Ortsnetz Stuttgart unter Verwendung eines FM-Geräts gemessenen Verteilungskurven für eine Blocklänge von 63 Schritten aufgetragen sind. Es ist anzunehmen, daß auf anderen Übertragungsstrecken, die sich hinsichtlich der Technik der Vermittlungsämter, der Modulationsgeräte und vieler anderer Eigenschaften unterscheiden können, andere Kurven gemessen werden. Daher wäre es nicht sinnvoll, sondern in höchstem Maße einschränkend, wenn man bei der Planung des Fehlerkorrekturgeräts eine bestimmte Kurve der Fehlerverteilung zugrunde legen würde. Man muß das Gerät vielmehr so auslegen, daß die geforderte Sicherheit für alle möglichen Verteilungskurven gewährleistet ist. Es ist dabei gar nicht nötig, diese Kurven im einzelnen zu kennen, sondern man kann bei der Planung mit der Annahme arbeiten, daß in den *gestörten* Blocks die Fehlerzahlen nach dem Gesetz von *Bernoulli* verteilt sind. Mit dieser Annahme gilt

$$b(e) = \binom{n}{e} \cdot p_{EB}{}^{e} \, (1 - p_{EB})^{n-e} \qquad (9)$$

Diese Gleichung unterscheidet sich von Gl. (2) dadurch, daß sie die Schrittfehlerwahrscheinlichkeit für falsche Blocks p_{EB} enthält, d. h. daß mit ihr die Fehlerverteilung nur in den gestörten Intervallen der Übertragung angegeben wird. In Bild 4b sind einige der nach Gl. (9) errechneten Verteilungskurven aufgetragen. Man erkennt, daß sie sich von den Meßkurven beträchtlich unterscheiden. Wenn man aber ein Fehlerkorrekturgerät so auslegt, daß es die geforderte Fehlersicherheit für alle Kurven von $p_{EB} = 0$ bis $p_{EB} = 0{,}5$ erfüllt, dann erfüllt es sie auch für alle Meßkurven. Man braucht dabei nicht zu befürchten, daß man das Gerät zu sicher und damit zu aufwendig dimensioniert hat, denn wie Bild 3 zeigt, ergibt sich schon bei den speziellen Messungen im Stuttgarter Ortsnetz ein sehr weiter Bereich der möglichen Fehlerwahrscheinlichkeiten p_{EB}.

Wenn man für Planungszwecke mit der *Bernoulli*-Verteilung in den gestörten Zeitintervallen rechnet, dann läßt sich der oben definierte Reduktionsfaktor R wie folgt schreiben:

$$R = \sum_{e=1}^{e=n} r(e) \cdot \binom{n}{e} p_{EB}{}^{e} \, (1 - p_{EB})^{n-e} \qquad (10)$$

Zum Beurteilen eines Codierungsverfahrens ist es nun noch nötig, die Funktion $r(e)$ für dieses Verfahren zu bestimmen. Diese Berechnung ist sehr mühsam, denn man muß von allen möglichen Fehlerkombinationen die aussuchen, die nicht erkannt werden können. Für manche Codierungsverfahren, z. B. wenn nur Zeilen und Spalten eines Nachrichtenblocks durch Prüfschritte geschützt werden, lassen sich relativ einfache Gesetzmäßigkeiten für die Zahl der

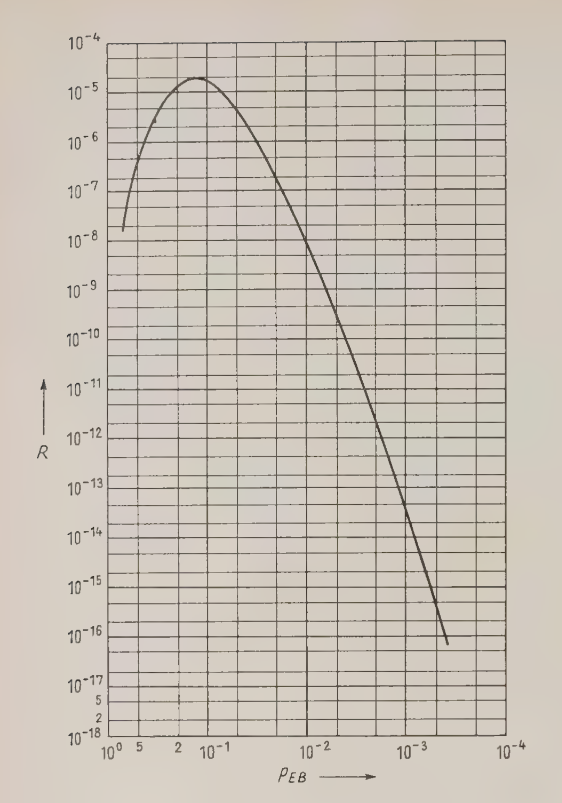


Bild 5. Reduktionsfaktor R für ein Codierungsverfahren mit Prüfung der Zeilen, Spalten und Diagonalen eines Blocks mit 63 Schritten unter Annahme einer Zufallsverteilung der Fehler. p_{EB} = Schrittfehlerwahrscheinlichkeit in gestörten Blocks.

nicht erkennbaren Fehlerkombinationen aufstellen. Für das in dem unten beschriebenen Gerät verwendete Codierungsverfahren, bei dem zusätzlich noch die Diagonalen geschützt werden, ist die Rechnung viel umfangreicher und konnte nur mit einem Elektronenrechner durchgeführt werden. In Bild 5 ist als Ergebnis der Reduktionsfaktor R nach Gl. (10) über der Schrittfehlerwahrscheinlichkeit für falsche Blocks aufgetragen.

Man erkennt, daß die Kurve ein Maximum bei $p_{EB} = 0{,}1$ hat, das entspricht einer Anzahl von durchschnittlich etwa 6 Fehlern pro Block. Dieses Maximum ist dadurch zu erklären, daß bei dem erwähnten Codierungsverfahren der größte Anteil der nicht erkennbaren Fehlerkombinationen 6 Fehler enthält. Da alle anderen Fehlerkombinationen mit größerer Wahrscheinlichkeit erkannt werden, fällt die Kurve nach kleineren und nach größeren Werten von p_{EB}. Es ist zu beachten, daß das Maximum von R bei einem Wert von p_{EB} liegt, der im Betrieb auf bestimmten Verbindungen durchaus vorkommen kann. Daher ist nur dieses Maximum zum Beurteilen der Wirksamkeit des Fehlerkorrekturgeräts maßgebend. In Bild 6 ist die Wahrscheinlichkeitskurve für nichterkannte fehlerhafte Blocks $p_B{}^*$ gemäß Gl. (5) über dem Signalpegel am Leitungswähler für eine bestimmte Verbindung aufgetragen. Das Maximum dieser Kurve hat den Wert $p_B{}^* = 5 \cdot 10^{-7}$. Das bedeutet, daß die Zeichenfehlerwahrscheinlichkeit im ungünstigsten Fall etwa 10^{-7} ist, denn ein Block enthält 8 Zeichen, von denen nur bei sehr ungünstigen Verhältnissen 2 bis 3 fehlerhaft sein können. Die Planung des Fehlerkorrekturgeräts erfüllt also die am Anfang aufgestellte Forderung. Neben der Planungskurve ist in Bild 6 noch eine Meßkurve eingetragen, die beim Einsatz des Geräts im Ortsnetz Stuttgart gemessen wurde. Diese Kurve wird im Abschnitt 5.4 diskutiert.

5.3 *Praktische Ausführung*

Bild 7 zeigt das Prinzipschaltbild des bei SEL entwickelten Datenübertragungssystems unter besonderer Berücksichtigung des Fehlerkorrekturgeräts. Um einen möglichst hohen Grad an Flexibilität zu erreichen, wurde das Übertragungssystem in Anpassungsgerät, Fehlerkorrekturgerät und Modulationsgerät unterteilt.

Die zu übertragenden Daten gelangen von der Nachrichtenquelle über das Anpassungsgerät in einen der drei Blockspeicher U, V, W, die in zyklischer Folge mit der Nachrichtenquelle verbunden werden.

In dem in Bild 7 dargestellten Augenblick schreibt der Speicher W gerade ein. Speicher V sendet, während Speicher U, der schon vor V gesendet hat, seine Nachricht so lange hält, bis ein Bestätigungssignal die richtige Übertragung der Nachricht anzeigt. Nach dem Eintreffen des Signals wird Speicher U gelöscht und steht dann zur Aufnahme des nächsten Blocks zur Verfügung. Die Aufforderung zum Einspeichern kommt vom Fehlerkorrekturgerät durch ein Startsignal, das die Aufnahmebereitschaft des Übertragungssystems anzeigt. Der Schrittakt für das Einspeichern kommt von der Nachrichtenquelle und wird über das Steuergerät für Einschreiben und Codieren dem jeweils angeschlossenen Blockspeicher zugeführt.

Jeder der Blockspeicher hat eine Speicherkapazität für 63 Bit, und zwar für 42 Nachrichten- und 21 Prüfschritte. Beim Einspeichern werden die ankommenden Nachrichtenschritte gezählt, und beim 42. Schritt wird das Startsignal abgeschaltet. Um die Trägheit mechanischer Lesegeräte zu berücksichtigen, kann man das Startsignal schon beim Einspeichern eines beliebig zu wählenden früheren Schrittes abschalten.

Während des Einspeicherns werden in einer Zählschaltung die Prüfschritte abgeleitet, die unmittelbar nach Einlaufen des letzten Nachrichtenschrittes in den Blockspeichern zur Verfügung stehen, so daß der Block ohne Zeitverlust

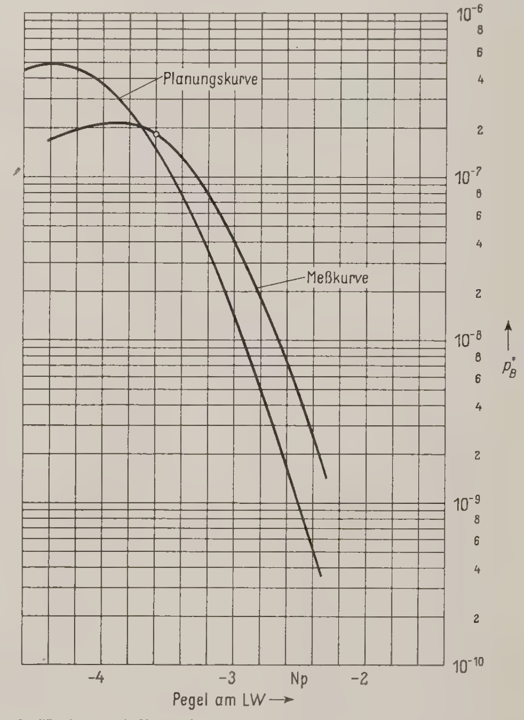


Bild 6. Wahrscheinlichkeit $p_B{}^*$ für das Auftreten nicht erkennbarer falscher Blocks als Funktion des Signalpegels am Leitungswähler. Planungskurve: Gerechnet mit Bernoulli-Verteilung der Fehler. Meßkurve: Gemessen auf einer Verbindung im Ortsnetz Stuttgart.

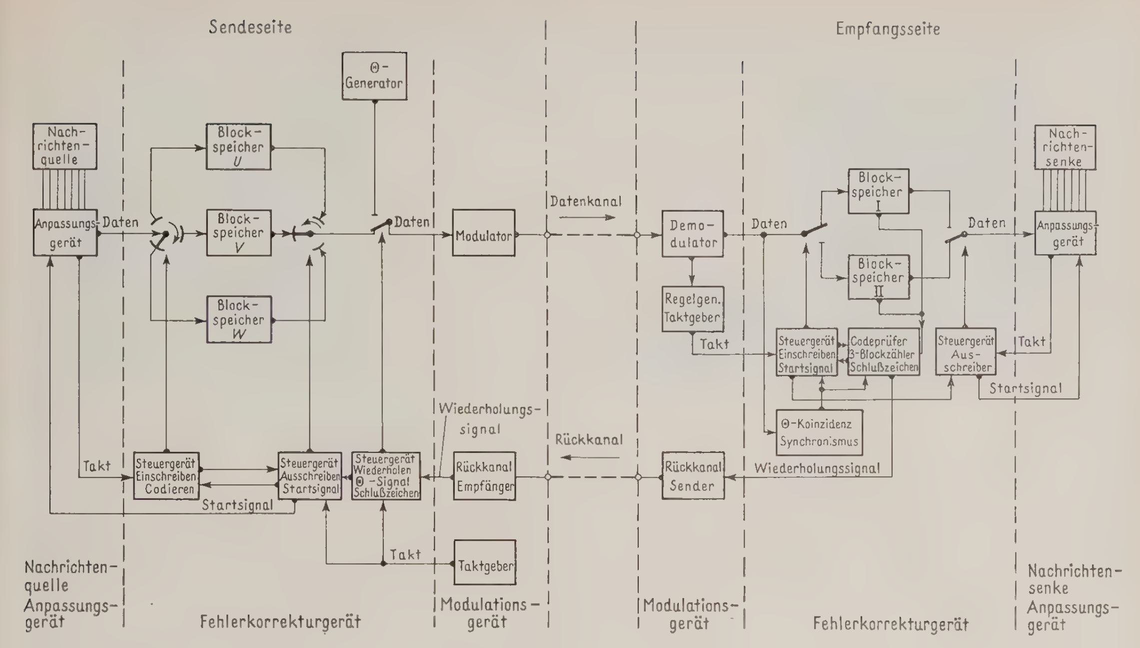


Bild 7. Übersichts-Blockschaltbild.

gesendet werden kann. Bei ungestörtem Betrieb schließt sich die Sendung eines Blocks ohne Wartezeit an die des vorhergehenden Blocks an.

Wenn die Übertragung eines Blocks (z. B. aus dem Speicher U) fehlerhaft war, kommt während der Sendung des nächsten Blocks (V) an Stelle des Quittungssignals ein Wiederholungssignal. Daraufhin wird das Startsignal zur Nachrichtenquelle für den nächsten Blockzyklus unterdrückt, und das „Steuergerät für Wiederholen, Θ-Signal und Schlußzeichen" legt an Stelle des nächsten Blockspeichers W, der noch voll geschrieben wurde, den Θ-Generator an die Übertragungsstrecke. Der Θ-Generator gibt eine bestimmte Zeichenfolge in Blocklänge, die der Empfangsseite die Wiederholung ankündigt und mit deren Hilfe der Synchronismus wiederhergestellt werden kann. Nach dem Aussenden des Θ-Signals wird der fehlerhaft übertragene Block U wiederholt, gefolgt von Block V, der zwar schon einmal gesendet, aber auf der Empfangsseite nicht ausgewertet wurde. Danach geht der normale Zyklus mit Block W weiter, und das Startsignal gelangt wieder an die Nachrichtenquelle. Den Takt für das Aussenden der Nachrichtenblocks, der die Übertragungsgeschwindigkeit bestimmt, gibt ein Taktgeber im Modulationsgerät.

Auf der Empfangsseite werden die einlaufenden Nachrichtenblocks einschließlich der mitübertragenen Prüfschritte abwechselnd in die Blockspeicher I und II geschrieben. In dem in Bild 7 dargestellten Augenblick wird gerade Speicher I vollgeschrieben, während der Inhalt des Speichers II nach positiv verlaufener Codeprüfung über das Anpassungsgerät zur Nachrichtensenke geht.

Den Takt zum Ausspeichern des geprüften Blocks liefert die Nachrichtensenke über das Anpassungsgerät. Daher muß unmittelbar nach der Codeprüfung ein Startsignal zur Nachrichtensenke gegeben werden, damit diese die Abfrage des Blockspeichers einleiten kann. Das Fehlerkorrekturgerät zählt die ausgespeicherten Nachrichtenschritte, und nach dem 42. Schritt wird das Startsignal abgeschaltet. Auch hier kann man das Startsignal um eine beliebig einstellbare Anzahl von Schritten früher abschalten, wenn dies wegen der Trägheit einer mechanisch arbeitenden Nachrichtensenke nötig ist.

Die Codeprüfung erfolgt durch Vergleich der mit der Nachricht übertragenen Prüfschritte mit den während des Einspeicherns abgeleiteten Prüfschritten. Verläuft sie negativ, so erhält die Nachrichtensenke kein Startsignal, sondern es wird das Wiederholungssignal über den Rückkanal zur Sendeseite übertragen. Der falsche Nachrichtenblock und der darauf folgende werden gelöscht. Der nun folgende Θ-Block, den eine Koinzidenzschaltung erkennt, kündigt den Wiederholungszyklus an. Das Fehlerkorrekturgerät ist so gebaut, daß es auch nach beliebig langen Störungen an der richtigen Stelle mit der Übertragung fortfährt. Deshalb kann man nach Beenden der Übertragung nicht einfach die Leitung unterbrechen (weil in diesem Fall die nächste Nachricht unmittelbar an die vorhergehende angeschlossen würde), sondern man muß ein Schlußzeichen senden, das die Empfangsendstelle stillegt.

Da man die Ein- bzw. Ausspeicherung schon vor dem 42. Schritt anhalten kann, erwachsen aus dem Verfahren der Fehlerkorrektur keine Anforderungen an den Zeichencode, in dem die Nachricht angeboten wird. Da die Nachrichtenschritte beim Einschreiben und beim Ausschreiben der Blocks gezählt werden, besteht nämlich die Möglichkeit, immer nur eine bestimmte Anzahl von Schritten, die einer ganzen Anzahl von Zeichen entspricht, in den Block zu schreiben und die übrigbleibenden Stellen z. B. mit Nullen aufzufüllen, die dann auf der Empfangsseite nicht berücksichtigt werden. Mit geeigneten Anpassungsgeräten kann man das beschriebene Datenübertragungssystem also zur Zusammenarbeit mit verschiedenartigen Nachrichtenquellen und -senken verwenden. Die einzige Anforderung an diese Geräte ist, daß sie durch das Abschalten des Startsignals nach einer angebbaren Anzahl von Schritten anhalten können. Das Einspeichern bzw. Ausspeichern kann mit Geschwindigkeiten bis zu 10 kBd erfolgen. Die Übertragungsgeschwindigkeit wird einerseits von der Bandbreite des zur Verfügung stehenden Übertragungskanals und den dazu passenden Modulationsgeräten bestimmt. Andererseits ergibt sich eine obere Grenze dafür aus der Bedingung, daß die Übertragungsdauer eines Blocks länger sein muß als die Summe der Laufzeiten im Daten- und im Rückkanal.

Die beiden Endstellen des Datenübertragungssystems zeigt Bild 8. Sende- und Empfangsstelle einschließlich Netzgerät





Bild 8. a) Sende-Endstelle, b) Empfangs-Endstelle.

sind in je einem Tischgestell untergebracht. Die Bauweise mit steckbaren Baugruppen gestattet ein einfaches Auswechseln der Anpassungsgeräte bzw. der Modulationsgeräte. Die abgebildeten Gestelle enthalten Anpassungsgeräte für Lochstreifenleser und für Streifenlocher. Die Modulationsgeräte sind zum Betrieb über wählbare Telefonverbindungen bei einer Modulationsgeschwindigkeit von 800 Baud ausgelegt. Sowohl für den Datenkanal als auch für den Rückkanal wird *FM* verwendet. Neben der Sendestelle sieht man in Bild 8 ein Fernschaltgerät, das zum Verbindungsaufbau und zur Kontrolle des Betriebsablaufs dient. Die Empfangsendstelle ist so ausgeführt, daß ein unbemannter Betrieb möglich ist. Beide Endstellen enthalten Einrichtungen, die einen Übergang von Datenverkehr auf Sprechverkehr und umgekehrt möglich machen.

5.4 *Meßergebnisse*

Die beiden wichtigsten Größen, die das Betriebsverhalten eines Datenübertragungssystems mit Fehlerkorrektur durch Wiederholung kennzeichnen, sind die Wiederholungsrate und die Wahrscheinlichkeit $p_B{}^*$ für das Auftreten nicht erkannter Fehler.

Die Wiederholungsrate wurde auf Verbindungen des Stuttgarter Ortsnetzes in einer Versuchsreihe gemessen, die etwa eine Woche dauerte. Die Ergebnisse sind in Bild 9 dargestellt. Die ausgezogene Kurve gibt den Anteil von Blocks mit mindestens einem Fehler, also p_B, an, die gestrichelte Kurve zeigt den Anteil der wiederholten Blocks einschließlich des Θ-Signals, mit anderen Worten den Verlust an Übertragungszeit durch die Fehlerkorrektur. Der Anteil der wiederholten Blocks ist größer als der der fehlerhaften, da ein Wiederholungszyklus 3 Blocks umfaßt. Der Sendepegel betrug bei den Messungen —2 Np, der Pegel am Leitungswähler ca. —3,6 Np (bei 1800 Hz) und der Empfangspegel ca. —5,4 Np (bei 1800 Hz). Aus den Kurven ist deutlich zu entnehmen, wie die Fehlerrate der Verkehrsdichte in den Ämtern folgt, die bekanntlich vormittags und nachmittags je eine ausgeprägte Spitze hat. Erfreulich ist, daß die Wiederholungsrate nur in sehr seltenen Fällen über 10% steigt. Aus den Kurven ergeben sich folgende Mittelwerte:

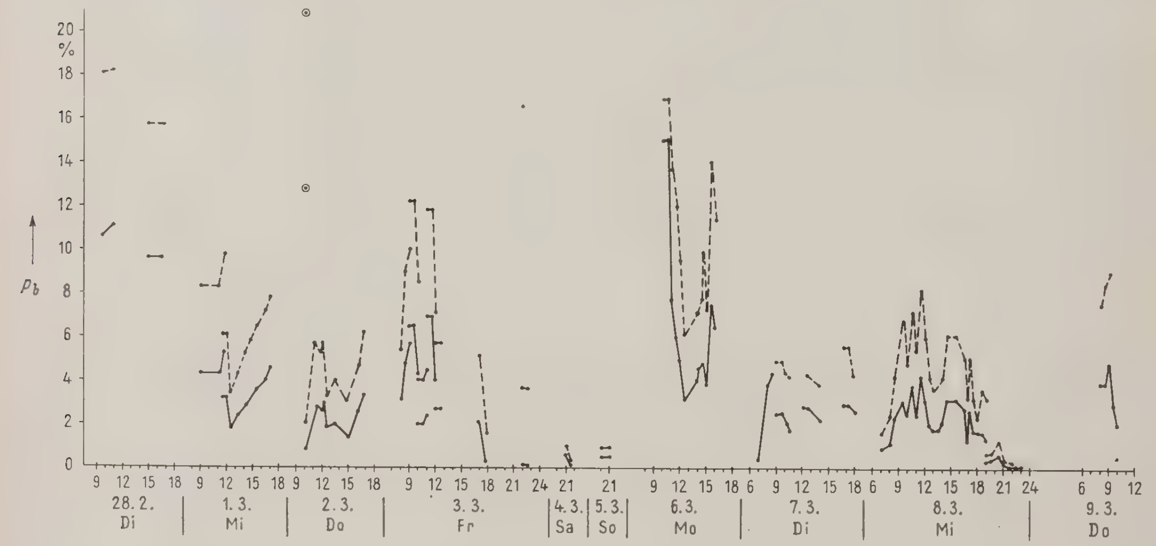


Bild 9. Blockfehlerwahrscheinlichkeit p_B und Zeitverlust durch Wiederholung als Funktion der Tageszeit für verschiedene Verbindungen. Messungen im Ortsnetz Stuttgart.

——————— Blockfehlerwahrscheinlichkeit p_B

— — — — — — Zeitverlust durch Wiederholung.

Sendepegel —2 Np
Empfangspegel
1500 Hz —4,7 Np... —5,8 Np
2100 Hz —5,3 Np... —6,35 Np
Signalpegel am LW
1800 Hz —3,6 Np

	Blockfehler-wahrschein-lichkeit p_B	Wieder-holungs-rate w	$\frac{w}{p_B}$
Mittelwert von 6^h bis 17^h	0,043	0,075	1,75
Mittelwert von 17^h bis 6^h	0,003	0,0067	2,2
Mittelwert von 6^h bis 6^h	0,021	0,038	1,8

Es ist interessant, daß das Verhältnis der Anzahl der wiederholten Blocks zur Anzahl der falschen Blocks nur etwa 2 ist. Das bedeutet, daß im Mittel etwa drei aufeinanderfolgende Blocks gestört werden, denn wenn ein einzelner Block gestört wird, ist ein Wiederholungszyklus von drei Blocks nötig; wenn zwei aufeinanderfolgende Blocks gestört werden, sind zwei solcher Zyklen erforderlich, während bei einer Störung von drei oder vier aufeinanderfolgenden Blocks auch nur zwei Wiederholungszyklen durchlaufen werden.

Bei diesen Messungen wurden insgesamt $1{,}51 \cdot 10^8$ Bit gesendet und es traten $8{,}6 \cdot 10^4$ fehlerhafte Blocks auf. Alle falschen Blocks hat die Fehlerkorrektureinrichtung erkannt. Aus diesen Messungen kann man natürlich noch keine Rückschlüsse auf die Wahrscheinlichkeit für nicht erkannte Blockfehler ziehen, denn dafür reicht der Umfang der Messungen nicht aus. Wenn man die bei der Planung des Systems vorausberechnete Wahrscheinlichkeit für nicht erkennbare Fehler nachmessen wollte, die in Bild 6 als Funktion des Signalpegels angegeben ist, wäre dazu eine Meßreihe über mehrere Jahre nötig.

Um zu einer tragbaren Versuchsdauer zu kommen, wurde daher nicht über die wirklichen Verbindungen gemessen, sondern das Leistungsgeräusch wurde auf Tonband aufgenommen und bei der Messung über eine nachgebildete Leitung eingeblendet. Dadurch bestand die Möglichkeit, die störungsfreien Längen des Tonbandes herauszuschneiden und aus den gestörten Längen eine Schleife herzustellen, mit der man Dauerversuche durchführen konnte. Das Verhältnis der störungsfreien Zeit zur gestörten Zeit betrug dabei 17:1. Mit diesen zeitlich gerafften Störungen wurden Messungen durchgeführt, die sich über 158 Stunden erstreckten und bei denen $4{,}58 \cdot 10^8$ Bit gesendet wurden. Dabei entdeckte das Fehlerkorrektursystem $2{,}5 \cdot 10^6$ falsche Blocks, nur 22 Fehler blieben unentdeckt. Diese Messungen wurden bei einem Störabstand durchgeführt, der bei einer wirklichen Verbindung einem Signalpegel von —3,6 Np am Leitungswähler entspricht. Die Wahrscheinlichkeit für nichterkannte Blockfehler ergibt sich aus diesen Zahlen unter Berücksichtigung des Zeitraffungsfaktors zu $p_B^* = 1{,}8 \cdot 10^{-7}$. Dieser Wert ist in Bild 6 eingetragen. Der weitere Verlauf der in Bild 6 eingezeichneten Meßkurve wurde aus der Gleichung

$$p_B^* = p_B \cdot \sum_{e=1}^{e=n} r(e) \cdot b(e)$$

ermittelt. Dabei wurden für p_B und für $b(e)$ die auf wirklichen Verbindungen gemessenen Werte eingesetzt.

Wie man aus Bild 6 erkennt, stimmt die Planungskurve mit der aus Meßwerten ermittelten Kurve recht gut überein. Die Abweichungen entstehen durch die Annahme einer Bernoulli-Verteilung für die Planung, die von der wirklich gemessenen Verteilung abweicht. Da aber für die Beurteilung der Wirksamkeit des Fehlerkorrekturgeräts das Maximum der Kurve ausschlaggebend ist, sind diese Abweichungen ohne große Bedeutung.

Literatur

[1] *H. Marko*, Systemtechnik der Datenübertragung auf Fernsprechleitungen. Nachr.-techn. Fachber. 19 (1960) S. 63—69.

[2] *E. D. Sunde*, Ideal Binary Pulse Transmission by AM and FM. Bell Syst. techn. J. 38 (1959) S. 1357-1426.

[3] *G. F. Montgomery*, Comparision of Amplitude and Angle Modulation for Narrow-Band Communication of Binary-Coded Messages in Fluctuation Noise. Proc. Inst. Radio Eng. 42 (1954) S. 447—457.

[4] *H. J. Held*, Fehlersicherheit binärer Übertragungen bei verschiedenen Modulationsarten. Nachr.-techn. Z. 11 (1958) S. 286—292.

Die Strukturanalyse von Formelübersetzern

Analysis of the structure of formula translators

von P. LUCAS
Institut für Niederfrequenztechnik
der TH Wien

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H, 4, S. 159—167
Manuskripteingang: 8. 6. 1961

Aus einer systematischen Klärung des Zusammenhangs zwischen Programmierungssprache und zugehörigem Formelübersetzer wird eine Methode entwickelt, die es gestattet, das Skelett des Übersetzers aus den Definitionen der Programmierungssprache abzuleiten. Insbesondere rekursive Definitionen *und die zugehörigen Programmstrukturen werden ausführlich untersucht. Mit Hilfe des abgeleiteten Skeletts läßt sich ein Formelübersetzer aufbauen, der aus allen sinnvollen, syntaktisch richtigen Ausgangsprogrammen die zugehörigen Maschinenprogramme generiert und dabei gleichzeitig das Ausgangsprogramm lückenlos auf syntaktische Richtigkeit kontrolliert.*

Zur Beschreibung dienen drei Sprachstufen, die Objektsprache (hier: ALGOL 60), die Metasprache 1 (hier die Metasprache des ALGOL 60 - Berichts) und eine neu definierte Meta-Metasprache. Die Typen der syntaktischen Definitionen, wie sie in Programmierungssprachen auftreten, werden in der Meta-Metasprache beschrieben, und zu jedem Typ wird eine Übersetzerstruktur angegeben. Weiterhin werden Vereinfachungen der entstehenden Gesamtstruktur beschrieben. Das Verfahren wird dem bekannten Verfahren von Bauer *und* Samelson *gegenübergestellt und durch Beispiele aus einem Formelübersetzer für ALGOL 60 illustriert.*

Out of a systematic clarification of the relationship between programming language and corresponding formula translator, a method is developed which permits the derivation of the skeleton of the translator from the definitions of the programming language. Especially recursive definitions *and the related programming structures are thoroughly investigated. With the aid of the derived skeleton a translator can be designed which generates machine programs from all meaningful and syntactically correct source programs and which simultaneously checks for syntactical correctness.*

The description is formulated by means of three levels of language: the object language (here: ALGOL 60), the meta-language (here: the meta-language as used in the ALGOL 60 report) and a newly defined meta-meta-language. The types of syntactic definitions as they occur in programming languages are described in the meta-meta-language and to each of them a translator structure is assigned. Furthermore, a rule for simplification of the resulting over-all-structure is given. The method is compared with the known one of Bauer *and* Samelson. *Some examples out of a formula translator for ALGOL 60 illustrate the method.*

Gliederung

0 Aufgabenstellung

Die folgende Arbeit soll eine Methode zeigen, die gestattet, aus der syntaktischen Definition einer Programmierungssprache die Struktur des Übersetzers abzuleiten.

0.1 Einleitung

Die Arbeit entstand beim Entwurf eines Übersetzers für die algorithmische Formelsprache ALGOL 60 [1]. Weiterhin gründet sie sich auf die Arbeiten von *F. L. Bauer* und *K. Samelson* [2] [3].

Die entwickelte Methode ist auf beliebige Programmierungssprachen anwendbar, für die bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind und die mit Hilfe der im Abschnitt 2.2 beschriebenen Definitionstypen niedergelegt sind. Die Methode hat den Vorteil, daß in einem einzigen Arbeitsgang erstens die Übersetzung der Programmierungssprache und zweitens die Kontrolle des Programms auf syntaktische Richtigkeit besorgt werden kann.

0.2 Der allgemeine Aufbau des Übersetzers

Der Ausgangspunkt des Übersetzungsvorgangs ist das in der Programmierungssprache formulierte Programm, das *Ausgangsprogramm*. Das Ziel der Übersetzung ist das dem Ausgangsprogramm entsprechende Programm in der Maschinensprache, das *generierte Programm*. Das Ausgangsprogramm enthält erstens die zu bearbeitende Information in Form von *Daten* oder in Form von solche Daten bezeichnenden *Variablen*, und zweitens die Anweisungen, auf welche Weise die Daten oder Variablen zu bearbeiten sind, die *Operatoren*. Außerdem kann das Ausgangsprogramm auch noch Zusatzinformationen über die Daten oder Variablen zur näheren Bestimmung der Bedeutung einzelner Ausdrücke (Beispiel aus ALGOL 60: ⟨declarations⟩) enthalten. Den Daten und Variablen entsprechen im generierten Programm Inhalte von Speicherzellen oder Adressen. Den Operatoren entsprechen im generierten Programm Befehle oder Befehlsgruppen.

Im Übersetzer befindet sich eine Liste dieser Befehlsgruppen; die Adressen der Argumente fehlen in diesen Befehlen. Der Übersetzer ruft nun die einem Operator entsprechende Befehlsgruppe auf, setzt die dem Operanden entsprechenden Adressen ein und fügt das Resultat dem bereits generierten Programm an. Da die Operatoren nicht immer in der gleichen Reihenfolge ausgeführt werden können, in der sie im Ausgangsprogramm aufgetreten sind, müssen die Operatoren in solchen Fällen umgruppiert werden.

Die eben aufgezählten Aufgaben werden von Unterprogrammen des Übersetzers übernommen. Welche Unterprogramme vom Übersetzer in einem bestimmten Zeitpunkt des Übersetzungsvorgangs ausgeführt werden sollen, wird durch das letzte eingelesene Zeichen und durch die Vorgeschichte, d. h. durch den *Zustand* des Übersetzers bestimmt. Gelesene Zeichen und Zustand bilden also zusammen jene Information, die den Übersetzungsprozeß steuert. Sie soll daher die *steuernde Information* genannt werden.

Die vorliegende Arbeit behandelt die Steuerung von Übersetzungsprozessen. Es soll gezeigt werden, wie sich die Steuerung eines Übersetzungsprozesses aus den syntaktischen Definitionen einer Programmierungssprache unter bestimmten Voraussetzungen ableiten läßt. Die Methode wird an Beispielen demonstriert, die zur Sprache ALGOL 60 gehören.

1 Begriffsbildung

1.1 Sprachstufen

Wie bei allen künstlichen Sprachen ist es auch bei Programmierungssprachen notwendig, die *Sprache* zu beschreiben, also *über die Sprache zu sprechen*.

Zu diesem Zweck kann man zum Beispiel die deutsche Sprache verwenden. Man kann aber zur Beschreibung

einer formalisierten Sprache — und dies ist der einzige exakte Weg — wieder eine formalisierte Sprache benützen. Um Mißverständnisse und Zweideutigkeiten zu vermeiden, kann man für die beschriebene Sprache selbst und für ihre Beschreibung jeweils *verschiedene* Zeichen wählen.

Man nennt die Sprache, die beschrieben werden soll, die *Objektsprache*. Die Sprache, mit deren Hilfe die Objektsprache beschrieben wird, heißt *Metasprache*.

Die Metasprache wird im vorliegenden Fall aber ebenfalls zum Gegenstand der Untersuchung und so zur Objektsprache. Zu ihrer Beschreibung muß daher eine Metasprache zweiter Stufe eingeführt werden. Die Metasprache erster Stufe soll kurz *Metasprache 1*, die Metasprache zweiter Stufe soll *Metasprache 2* oder *Meta-Metasprache* heißen.

1.2 Syntax

Bezieht sich die Beschreibung einer Sprache nur auf die möglichen Gruppierungen der Grundzeichen der Sprache und nicht auf die Bedeutung, so spricht man von einer *syntaktischen Beschreibung*.

Unter der Syntax einer Sprache versteht man also jene Definitionen und Regeln, die erlauben, aus den Zeichen der Sprache Ausdrücke zu bilden, ohne auf die Bedeutung der Zeichen einzugehen. Die Syntax legt fest, welche Zeichenfolgen einen *möglichen* Ausdruck der Sprache bilden und welche nicht. Sie kümmert sich aber nicht darum, welche Zeichenfolgen einen *sinnvollen* Ausdruck bilden.

2 Der Formalismus zur Beschreibung von Programmierungssprachen

2.1 Ausdrucksmittel der drei Sprachstufen

Die dieser Arbeit zugrunde liegende *Objektsprache* ist ALGOL 60. *Metasprache 1* ist die im ALGOL-60-Bericht [1] verwendete. Die *Metasprache 2* wird im Abschnitt 2.13 neu definiert.

2.11 Die Objektsprache: ALGOL 60

ALGOL 60 ist in erster Linie zur Beschreibung von Algorithmen der numerischen Mathematik gedacht. Dabei war man bestrebt, nach Möglichkeit die übliche mathematische Formelsprache zu übernehmen. Diese bildet daher den Kern von ALGOL 60. Die übliche Symbolik war noch zu ergänzen durch Ausdrucksmittel, welche die eindeutige Festlegung des Ablaufes der numerischen Auswertung ermöglichen.

Es seien einige Beispiele für objektsprachliche Ausdrücke gegeben; die zugehörigen metasprachlichen Ausdrücke stehen in den Klammern ⟨. . .⟩ (siehe Abschnitt 2.12):

⟨integer⟩ — *506, 2, 3228*
⟨identifier⟩ — *a, P5, alpha, sin*
⟨arithmetic expression⟩ — $a + b/c$
⟨Boolean expression⟩ — $a < b$, $X1 \wedge X2$
⟨assignment statement⟩ — $y := a + b/c$
⟨conditional statement⟩ — **if** $a < b$ **then** $y := a + b/c$ **else** $y := a - b/c$

2.12 Metasprache 1: Metasprache des ALGOL-60-Berichts

Die Metasprache 1 dient zur syntaktischen Beschreibung der Objektsprache.

Die in Klammern ⟨. . .⟩ gesetzten Bezeichnungen repräsentieren metasprachliche Variable, für welche bestimmte Symbolketten der Objektsprache eingesetzt werden können. Als Verknüpfungszeichen werden ::= als *Definitionszeichen* und | als Zeichen für *oder* gewählt. Zum Beispiel lautet ein metasprachlicher Ausdruck

$$\langle\text{letter}\rangle ::= a \mid b \mid c \mid d \mid e \ldots y \mid z.$$

In den Definitionen steht das Definiendum stets links und das Definiens rechts vom Definitionszeichen. Der obige Ausdruck bedeutet, daß für die metasprachliche Variable ⟨letter⟩ einer der Buchstaben *a* oder *b* oder *c* . . . oder *z* eingesetzt werden darf.

In den metasprachlichen Formeln können auch Symbole der Objektsprache verwendet werden. Sie haben hier aber nicht die objektsprachliche Bedeutung, sondern geben nur an, daß an dieser Stelle der entsprechenden objektsprachlichen Ausdrücke genau das hingeschriebene Symbol steht. Man sagt in diesem Fall, daß dieses Symbol sich selbst bezeichnet. Ein Beispiel dafür ist die Formel

$$\langle\text{if clause}\rangle ::= \textbf{if}\ \langle\text{Boolean expression}\rangle\ \textbf{then}$$

Nebeneinanderstehende metasprachliche Variable bedeuten die Aneinanderreihung der Symbolketten, die sie repräsentieren, zum Beispiel

$$\langle\text{integer}\rangle ::= \langle\text{digit}\rangle \mid \langle\text{digit}\rangle\langle\text{integer}\rangle$$
$$\langle\text{identifier}\rangle ::= \langle\text{letter}\rangle \mid \langle\text{identifier}\rangle\langle\text{letter}\rangle \mid \langle\text{identifier}\rangle\langle\text{digit}\rangle$$

2.13 Grundzeichen und Ausdruckmittel der Metasprache 2

Die Metasprache 2 oder Meta-Metasprache dient zur Beschreibung der Definitionstypen, die in der Metasprache 1 formuliert sind. Die Metasprache 2 wird zum Teil die deutsche Sprache sein. Soweit es zur Beschreibung der Definitionen notwendig ist, werden auch einige wenige formale Ausdrucksmittel eingeführt.

1. Die Zeichen ::= und | sind der Metasprache 1 entnommen und bezeichnen sich selbst.
2. Variable der Metasprache 2 werden mit griechischen Buchstaben bezeichnet und in Doppelklammern gesetzt: $\langle\langle\alpha\rangle\rangle, \langle\langle\beta\rangle\rangle, \langle\langle\gamma\rangle\rangle \ldots$
   Diese Variablen bezeichnen allgemein Konstante oder Variable der Metasprache 1.
3. Wie in der Metasprache 1 bedeuten auch in der Metasprache 2 nebeneinanderstehende Variable die Aneinanderreihung der bezeichneten Einheiten.
4. Die Verknüpfungszeichen ¬, ∧ und ∨ werden im üblichen logischen Sinn verwendet.
5. Um die Darstellung der Definitionstypen zu erleichtern, wird für eine wichtige Eigenschaft meta-metasprachlicher Variabler ein logischer Operator „Enth" eingeführt:
   Die logische Funktion Enth $(\langle\langle\alpha\rangle\rangle, \langle\langle\beta\rangle\rangle)$ ist wahr, wenn die Variable $\langle\langle\alpha\rangle\rangle$ in der Kette ihrer Definitionen die Variable $\langle\langle\beta\rangle\rangle$ enthält.

Man könnte auch sagen, die Funktion ist wahr, wenn das Definiens von $\langle\langle\alpha\rangle\rangle$ die Variable $\langle\langle\beta\rangle\rangle$ entweder unmittelbar enthält oder wenn es eine (andere) Variable enthält, deren Definiens die Variable $\langle\langle\beta\rangle\rangle$ enthält oder usw.

Beispiel:
Die allgemeine Form der Definition von ⟨integer⟩ (vgl. das Beispiel in 2.12) würde lauten

$$\langle\langle\varrho\rangle\rangle ::= \langle\langle\alpha\rangle\rangle \mid \langle\langle\alpha\rangle\rangle\langle\langle\varrho\rangle\rangle,$$

und dabei gilt

$$\text{Enth}\ (\langle\langle\varrho\rangle\rangle, \langle\langle\varrho\rangle\rangle).$$

2.2 Typen syntaktischer Definitionen

Die hier verwendeten syntaktischen Definitionen kann man einteilen in

1. *enumerative* Definitionen,
2. *anreihende* Definitionen,
3. *kombinierte* Definitionen (kombiniert aus (1) und (2)), und bei jeder dieser Gruppen kann man

E. *explizite* oder nicht rekursive Definitionen und
R. *rekursive* Definitionen unterscheiden.

Jedem der dieser Gruppeneinteilung entsprechenden Definitionstypen entspricht eine bestimmte Programmstruktur.

2.21 Die enumerative Definition

Die enumerative Definition hat die Form

$$\langle\langle\varkappa\rangle\rangle ::= \langle\langle\alpha_1\rangle\rangle \mid \langle\langle\alpha_2\rangle\rangle \mid \langle\langle\alpha_3\rangle\rangle \mid \ldots \langle\langle\alpha_n\rangle\rangle. \qquad (1)$$

Dieser Typus definiert eine *syntaktische Kategorie*. Darunter versteht man eine Klasse von Ausdrücken, die an bestimm-

ten Stellen füreinander eingesetzt werden können, ohne daß der gesamte Ausdruck syntaktisch falsch wird. Da nach der obigen Definition an allen Stellen, an denen $\langle\langle \varkappa \rangle\rangle$ steht, eine der Variablen $\langle\langle \alpha_1 \rangle\rangle, \langle\langle \alpha_2 \rangle\rangle \ldots \langle\langle \alpha_n \rangle\rangle$ eingesetzt werden kann, bilden die Variablen $\langle\langle \alpha_1 \rangle\rangle$, $\langle\langle \alpha_2 \rangle\rangle \ldots \langle\langle \alpha_n \rangle\rangle$ eine syntaktische Kategorie.

Beispiele:

⟨multiplying operator⟩ : : = × |/| ÷ (1E)

⟨declaration⟩ : : = ⟨type declaration⟩ | ⟨array declaration⟩| ⟨switch declaration⟩ | ⟨procedure declaration⟩ (1R)

2.22 Die anreihende Definition

Die anreihende Definition hat die Form

$$\langle\langle \varphi \rangle\rangle ::= \langle\langle \alpha_1 \rangle\rangle \langle\langle \alpha_2 \rangle\rangle \langle\langle \alpha_3 \rangle\rangle \ldots \langle\langle \alpha_n \rangle\rangle. \qquad (2)$$

Dieser Typus der Definition definiert die *Kette*. An allen Stellen, an denen $\langle\langle \varphi \rangle\rangle$ steht, kann die Kette $\langle\langle \alpha_1 \rangle\rangle \langle\langle \alpha_2 \rangle\rangle \langle\langle \alpha_3 \rangle\rangle \ldots \langle\langle \alpha_n \rangle\rangle$ eingesetzt werden.

Beispiel:

⟨if clause⟩ : : = **if** ⟨Boolean expression⟩ **then** (2R)

2.23 Die kombinierte Definition

Die kombinierte Definition ist eine enumerative Definition, deren Konstituenten auch Ketten sind.

Beispiele:

⟨integer⟩ : : = ⟨unsigned integer⟩ | + ⟨unsigned integer⟩ | — ⟨unsigned integer⟩ (1E)

⟨array declaration⟩ : : = **array** ⟨array list⟩ | ⟨local or own type⟩ **array** ⟨array list⟩ (3E)

2.24 Die explizite Definition

Es sei $\langle\langle \delta \rangle\rangle$ das Definiendum und $\langle\langle \alpha_1 \rangle\rangle, \langle\langle \alpha_2 \rangle\rangle \ldots \langle\langle \alpha_n \rangle\rangle$ seien die im Definiens auftretenden Variablen.

Eine Definition ist explizit, wenn die Bedingung gilt

$$\neg \text{ Enth } (\langle\langle \delta \rangle\rangle, \langle\langle \delta \rangle\rangle).$$

Beispiel:

⟨multiplying operator⟩ : : = × |/| ÷ (1E)

Diese Definition ist sicher explizit, da im Definiens nur Grundzeichen der Objektsprache auftreten.

2.25 Die rekursive Definition

Wie unter 2.24 sei $\langle\langle \delta \rangle\rangle$ das Definiendum und $\langle\langle \alpha_1 \rangle\rangle$, $\langle\langle \alpha_2 \rangle\rangle \ldots \langle\langle \alpha_n \rangle\rangle$ seien die im Definiens auftretenden Variablen.

Eine Definition ist rekursiv, wenn die Bedingung gilt

$$\text{Enth } (\langle\langle \delta \rangle\rangle, \langle\langle \delta \rangle\rangle).$$

Damit man einen nach einer rekursiven Definition gebildeten Ausdruck abbrechen kann, muß es für jede rekursiv definierte Variable $\langle\langle \alpha \rangle\rangle$ mindestens einen Ausdruck $\langle\langle \beta \rangle\rangle$ geben, der für $\langle\langle \alpha \rangle\rangle$ eingesetzt werden kann und für den die Bedingung gilt $\neg$ Enth $(\langle\langle \beta \rangle\rangle, \langle\langle \alpha \rangle\rangle)$.

Beispiel:

⟨if clause⟩ : : = **if** ⟨Boolean expression⟩ **then**. (2R)

Die Rekursivität ist aus der Definition der ⟨Boolean expression⟩ zu erkennen:

⟨Boolean expression⟩ : : = ⟨simple Boolean⟩ | ⟨if clause⟩ ⟨simple Boolean⟩ **else** ⟨Boolean expression⟩ (3R)

Eine vom allgemeinen Fall verschiedene, einfachere Programmstruktur läßt sich für die folgenden beiden Fälle rekursiv definierter Ketten angeben (vgl. Abschnitt 3.34):

$$\text{(I)} \quad \langle\langle \varrho \rangle\rangle ::= \langle\langle \alpha \rangle\rangle \mid \langle\langle \beta \rangle\rangle \langle\langle \varrho \rangle\rangle \qquad (3R)$$

$$\text{(II)} \quad \langle\langle \varrho \rangle\rangle ::= \langle\langle \alpha \rangle\rangle \mid \langle\langle \varrho \rangle\rangle \langle\langle \beta \rangle\rangle \qquad (3R)$$

Die Definition (I) ergibt eine Kette der Form

$$\langle\langle \beta \rangle\rangle \langle\langle \beta \rangle\rangle \ldots \langle\langle \beta \rangle\rangle \langle\langle \alpha \rangle\rangle,$$

während die Definition (II) eine Kette der Form

$$\langle\langle \alpha \rangle\rangle \langle\langle \beta \rangle\rangle \ldots \langle\langle \beta \rangle\rangle \langle\langle \beta \rangle\rangle$$

ergibt.

Beispiel:

⟨unsigned integer⟩ : : = ⟨digit⟩ | ⟨unsigned integer⟩ ⟨digit⟩ (3R)

2.3 Syntaktische Kontrolle

Der Übersetzer muß alle Ausdrücke richtig verarbeiten, die den oben angeführten Definitionen gehorchen. Alle Ausdrücke, die nicht den angeführten Definitionen gehorchen, sind unerlaubt. Es ist wünschenswert, daß der Übersetzer unerlaubte Ausdrücke als solche erkennt und anzeigt. Dies ist im wesentlichen in der gleichen Struktur möglich, weil für Verarbeitung und syntaktische Kontrolle weitgehend die gleichen Fragen zu stellen und die gleichen Entscheidungen zu treffen sind. Daher ist es rationell, Verarbeitung und syntaktische Kontrolle in einem einzigen Arbeitsgang auszuführen.

Aus den im folgenden beschriebenen elementaren Programmstrukturen läßt sich schrittweise ein Verzweigungsschema aufbauen, welches einerseits gestattet die Syntax zu kontrollieren, und andererseits die Steuerung des Übersetzungsprozesses besorgt.

3 Ableitung der Programmstrukturen aus den Definitionstypen

3.1 Grundprinzip und Darstellungsweise

3.11 Grundprinzip

Jede metasprachliche Variable repräsentiert bestimmte Symbolketten. Gemäß der Bedeutung dieser Symbolketten müssen diese in die entsprechende Information für das generierte Programm umgesetzt werden.

Der Übersetzer soll so aufgebaut werden, daß jeder Bedeutung einer metasprachlichen Variablen ein Unterprogramm entspricht, das die Umsetzung der Symbolkette besorgt. Da die Bedeutung einer metasprachlichen Variablen vom Kontext abhängen kann, enthält das einer bestimmten Variablen zugeordnete Unterprogramm auch die Umsetzung jener Information, deren Bedeutung erst durch das Auftreten der Variablen festgelegt wird. Jener Teil der Information einer Variablen, die im Zeitpunkt ihres Auftretens nicht ausgewertet werden kann, wird in Hilfszellen zurückgestellt. Jene Hilfszellen, die im Bereich eines rekursiven Unterprogramms liegen, müssen in einem Keller untergebracht werden (vgl. Abschnitt 3.341.2).

Hat eine Variable $\langle\langle \alpha \rangle\rangle$ an verschiedenen Stellen verschiedene Bedeutung, so müssen — den Bedeutungen entsprechend — verschiedene Unterprogramme vorgesehen werden. Um die Darstellung zu erleichtern, wird im folgenden stets angenommen, daß jeder Variablen nur eine einzige Bedeutung zukommt, so daß jeder Variablen nur ein einziges Unterprogramm zugeordnet zu werden braucht.

Tritt eine Variable an einer einzigen Stelle in einem Definiens der syntaktischen Definitionen auf, so kann statt des zugehörigen Unterprogramms ein einfaches Programmstück in die Struktur eingefügt werden.

Syntaktische Kontrolle und Übersetzer lassen sich in der beschriebenen Weise aus Unterprogrammen aufbauen, weil eine Verwandtschaft zwischen Unterprogrammstruktur und Syntax besteht. Eine Variable kann eine andere Variable nur entweder enthalten oder eben nicht enthalten; und diese Relation besteht auch zwischen Unterprogrammen. Wenn eine Variable sich selbst enthält, muß im Übersetzer ein Unterprogramm ebenfalls sich selbst enthalten. Diese Forderung kann mit der üblichen Unterprogrammtechnik nicht erfüllt werden; erst die Hinzunahme des *Kellerprinzips* ermöglicht die Lösung (vgl. Abschnitt 3.34).

Für die syntaktische Kontrolle braucht die Bedeutung der Symbole nicht herangezogen zu werden. Der Übersetzungsprozeß hingegen kommt ohne die Bedeutung nicht aus, die er teilweise aus dem Ausgangsprogramm und teilweise aus dem Übersetzungsprogramm entnimmt. Durch die Hinzunahme der Bedeutung entstehen im Gegensatz zur reinen Syntax nun auch verschränkte Strukturen.

Enthält die Variable $\langle\langle \alpha \rangle\rangle$ die Variable $\langle\langle \beta \rangle\rangle$, so folgt daraus für den entsprechenden objektsprachlichen Aus-

druck, daß die Symbolkette $\langle\langle\beta\rangle\rangle$ in der Symbolkette $\langle\langle\alpha\rangle\rangle$ eingebettet ist. Das heißt, die Symbolkette $\langle\langle\beta\rangle\rangle$ wird im allgemeinen Fall von den übrigen Symbolen der Symbolkette $\langle\langle\alpha\rangle\rangle$ umklammert; es können aber niemals Verschränkungen vorkommen. Sobald jedoch die durch die Bedeutung der Symbolketten entstehenden Beziehungen mit in die Betrachtungen einbezogen werden, kann eine verschränkte Struktur zum Beispiel der Form A_1B_1 A_2B_2 entstehen, worin erstens A_1 und A_2 und zweitens B_1 und B_2 Paare von zusammengehörigen Elementen sind. Diese verschränkte Struktur kann verarbeitet werden, indem die Information über A_1 und B_1 in zwei verschiedenen Hilfszellen oder in zwei Schubladfächern (vgl. Abschnitt 3.341.2) gespeichert und beim Auftreten von A_2 und B_2 ausgewertet wird.

3.12 Darstellungsweise

Zwar ließen sich grundsätzlich die nun folgenden Programmstrukturen auch in ALGOL 60 darstellen; zwecks besonderer Anschaulichkeit werden aber in den Bildern Flußdiagramme vorgezogen.

Das der Variablen $\langle\langle\alpha_i\rangle\rangle$ zugeordnete Unterprogramm wird durch ein Rechteck mit dem Kennzeichen $\langle\langle\alpha_i\rangle\rangle$ wiedergegeben (Bild 1). Die Frage des Programms, ob die Variable $\langle\langle\alpha_i\rangle\rangle$ vorliegt oder nicht, wird auf übliche Weise durch ein Oval mit zwei Ausgängen dargestellt (Bild 2). Der Rücksprung aus einem Unterprogramm wird mit RSP bezeichnet.

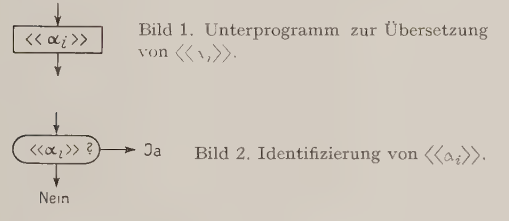


Bild 1. Unterprogramm zur Übersetzung von $\langle\langle\alpha_i\rangle\rangle$.

Bild 2. Identifizierung von $\langle\langle\alpha_i\rangle\rangle$.

3.2 Voraussetzungen

3.21 Voraussetzungen bezüglich der syntaktischen Definitionen

3.211 Jede metasprachliche Variable muß von den übrigen Konstituenten der syntaktischen Kategorie, der die Variable angehört, am ersten Zeichen der Symbolfolge, die sie repräsentiert, unterscheidbar sein.

Mit Hilfe dieser Voraussetzung kann eine metasprachliche Variable identifiziert werden, sobald dem Übersetzer das erste Zeichen bekannt ist. Die Frage nach einer metasprachlichen Variablen wird dadurch zu einer Frage nach dem ersten Zeichen der Symbolkette, die sie repräsentiert. Diese Voraussetzung dient nur zur Bequemlichkeit der Darstellung. Bei ALGOL 60 ist diese Voraussetzung in einigen Fällen nicht erfüllt. In diesen Fällen muß nach den weiteren Zeichen der Symbolkette gefragt werden, um eine eindeutige Antwort zu erhalten; dabei entsteht keine zusätzliche Problematik

3.212 Das Ende der einer Variablen zugeordneten Symbolkette ist entweder am letzten Zeichen der Symbolkette oder am ersten Zeichen der nachfolgenden Variablen erkennbar.

3.22 Vereinbarungen bezüglich der Unterprogramme

3.221 Die Zeichen des Ausgangsprogramms werden von einem Leseprogramm der Reihe nach eingelesen und dem Übersetzungsprogramm in der Speicherzelle C zur Verfügung gestellt. Das Übersetzungsprogramm wertet die eingelesenen Zeichen möglichst früh aus (sequentielle Übersetzung).

3.222 Das Unterprogramm, das die Auswertung einer Variablen besorgt, wird aufgerufen, sobald das erste Zeichen der entsprechenden Symbolfolge in die Speicherzelle C eingelesen worden ist.

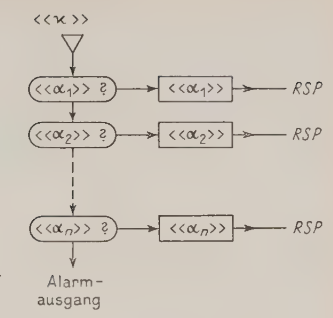


Bild 3. Struktur zur enumerativen Definition.

3.223 Nach dem Rücksprung aus dem Unterprogramm zur Auswertung einer Variablen steht das erste Zeichen der nachfolgenden syntaktischen Einheit in der Speicherzelle C.

Diese drei Vereinbarungen lassen sich wegen der Voraussetzungen 3.211 und 3.212 immer realisieren.

3.3 Strukturtypen

3.31 Die Struktur zur enumerativen Definition

Die zur enumerativen Definition (1)

$$\langle\langle\varkappa\rangle\rangle ::= \langle\langle\alpha_1\rangle\rangle \mid \langle\langle\alpha_2\rangle\rangle \mid \ldots \mid \langle\langle\alpha_n\rangle\rangle \qquad (1)$$

zugehörige Programmstruktur hat die sehr einfache Form von Bild 3. In Bild 4 wird als Beispiel das Flußdiagramm für die Variable $\langle$multiplying operator$\rangle$ gezeigt.

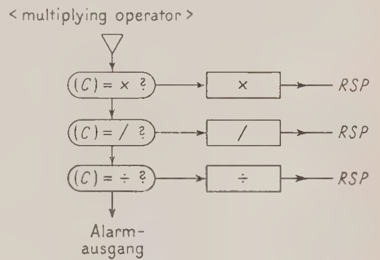


Bild 4. Beispiel zur enumerativen Definition.

Gilt für $\langle\langle\varkappa\rangle\rangle$ die Behauptung Enth $(\langle\langle\varkappa\rangle\rangle, \langle\langle\varkappa\rangle\rangle)$, so ist das Programm als rekursives Unterprogramm auszuführen (vgl. Abschnitt 3.34).

3.32 Die Struktur zur anreihenden Definition

Die zur anreihenden Definition (2)

$$\langle\langle\varrho\rangle\rangle ::= \langle\langle\alpha_1\rangle\rangle \langle\langle\alpha_2\rangle\rangle \ldots \langle\langle\alpha_n\rangle\rangle \qquad (2)$$

zugehörige Programmstruktur ist in Bild 5 wiedergegeben. Ist die Definition von $\langle\langle\varphi\rangle\rangle$ rekursiv, so ist das Programm als rekursives Unterprogramm auszuführen (vgl. Abschnitt 3.34). Als Beispiele können die Abschnitte 5.23 und 5.24 herangezogen werden.

3.33 Explizite Definitionen

Zur Auswertung explizit definierter Variabler genügt die übliche Unterprogrammtechnik.

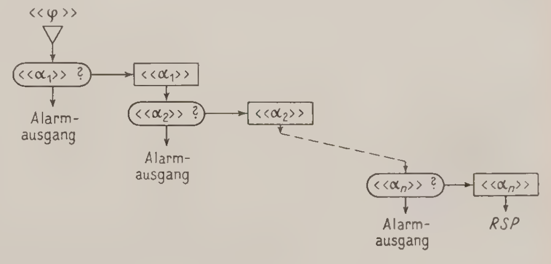


Bild 5. Struktur zur anreihenden Definition.

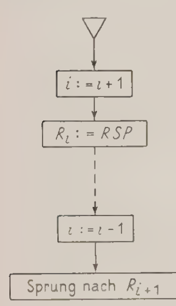
3.34 Die Struktur zur rekursiven Definition

3.341 Allgemeiner Fall

Die übliche Unterprogrammtechnik ist bei der Übersetzung rekursiv definierter Variabler nicht anwendbar. Da solche Variable sich selbst enthalten, müßte das Unterprogramm für die Auswertung der Variablen ebenfalls sich selbst enthalten, und beim Ablauf würden sowohl der Rücksprung als auch der Inhalt gewisser Hilfszellen zerstört werden.

3.341.1 Behandlung des Rücksprungs

In Abschnitt 3.11 ist gezeigt worden, daß sich die Unterprogramme umklammern können, nie aber verschränkt sind. Daher erfolgen die Rücksprünge stets in der genau umgekehrten Reihenfolge ihres Anfalls, und es genügt, sie kellerartig abzuspeichern, und es ist nur ein einziger Keller erforderlich. Das Prinzip von *Bauer* und *Samelson* erscheint hier auf die Rücksprünge von Unterprogrammen angewendet.



Das der rekursiven Definition entsprechende Unterprogramm soll *rekursives Unterprogramm* heißen. Der Verlauf rekursiver Unterprogramme kann aus Bild 6 abgelesen werden. Darin bedeutet R_i das lineare Speicherfeld für den Rücksprungkeller.

Bild 6.
Schema des rekursiven Unterprogrammes mit Rücksprungkeller.

3.341.2 Behandlung von Hilfszellen: Schubladenkeller

Unterprogrammsprünge, die aus einem rekursiven Unterprogramm in ein rekursives Unterprogramm führen, sollen *Rekursionssprünge* heißen. Eine Hilfszelle, deren Inhalt vor einem Rekursionssprung gespeichert und nach der Rückkehr noch gebraucht wird, muß ebenso behandelt werden wie die Rücksprünge im Abschnitt 3.341.1, das heißt, daß statt einer einzigen Hilfszelle H ein lineares Speicherfeld H_k organisiert werden müßte. Damit aber nicht mit vielen Kellern manipuliert werden muß — was natürlich einen erhöhten Programmaufwand bedeuten würde — kann man für Rücksprünge und Hilfszellen einen *einzigen* Keller verwenden. Zu diesem Zweck muß das Kellerprinzip erweitert werden.

Die Erweiterung besteht darin, daß nicht mehr *einzelne* Speicherzellen auf- und abgebaut werden, sondern *Speicherblöcke*. Die Speicherblöcke können unterschiedliche Länge haben. Die einzelnen Zellen eines solchen Speicherblockes können dann als Hilfszellen und eine dieser Speicherzellen kann zur Speicherung des Rücksprungs verwendet werden. Ein solcher Speicherblock soll im folgenden *Schublade* heißen und eine Speicherzelle eines Blocks ein *Fach* der Schublade.

Jedem rekursiven Unterprogramm ist eine Schublade zuzuordnen. Die einem bestimmten Unterprogramm zugeordnete Schublade wird am Beginn dieses Unterprogramms aufgebaut und am Ende des Unterprogramms wieder abgebaut. Dieser Vorgang ist in Bild 7 dargestellt; SL ist das für den Schubladenkeller reservierte Speicherfeld und k ist die Anzahl der benötigten Fächer.

3.341.3 Die Eingangsparameter bei rekursiven Unterprogrammen

Als Eingangsparameter für ein rekursives Unterprogramm können feste Hilfszellen festgesetzt werden. Vor dem entsprechenden Rekursionssprung werden diese Hilfszellen angefüllt. Sollen die Eingangsparameter über einen weiteren Rekursionssprung erhalten bleiben, müssen sie in entsprechende Schubladenfächer eingeordnet werden, und zwar am Beginn des Unterprogramms.

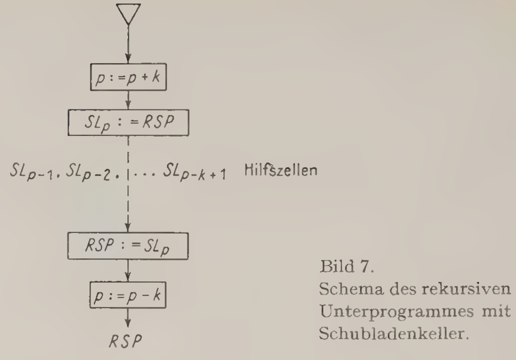


Bild 7.
Schema des rekursiven Unterprogrammes mit Schubladenkeller.

Da die Lage einer Schublade vor dem Sprung in das der Schublade entsprechende Unterprogramm bekannt ist, können die Eingangsparameter auch vom Hauptprogramm aus in die jeweiligen Fächer eingeordnet werden.

3.341.4 Die Ausgangsparameter bei rekursiven Unterprogrammen

Wie bei den Eingangsparametern können auch für die Ausgangsparameter feste Hilfszellen festgesetzt werden, deren Inhalt vor dem Rücksprung bestimmt und vom Hauptprogramm aus den festen Hilfszellen übernommen wird. Die Ausgangsparameter können aber auch (sofort nach dem Rücksprung) aus den Fächern des Unterprogramms genommen werden, da die Lage der Fächer unmittelbar nach dem Rücksprung bekannt ist.

Da beim Entwurf eines Programms die Anordnung der Fächer der Unterprogramme noch nicht bekannt zu sein braucht, ist es häufig angenehmer, die Ein- und Ausgangsparameter über feste Hilfszellen zu schleusen.

3.342 Die Struktur zur rekursiven Definition einer Kette

Die beiden Formen der Definition einer Kette waren (vgl. Abschnitt 2.242)

$$\text{(I)} \quad \langle\langle\varrho\rangle\rangle ::= \langle\langle\alpha\rangle\rangle \mid \langle\langle\beta\rangle\rangle\langle\langle\varrho\rangle\rangle \qquad \text{(3R)}$$

$$\text{(II)} \quad \langle\langle\varrho\rangle\rangle ::= \langle\langle\alpha\rangle\rangle \mid \langle\langle\varrho\rangle\rangle\langle\langle\beta\rangle\rangle \qquad \text{(3R)}$$

Dieser Spezialfall der rekursiven Definition läßt sich mit Hilfe zweier einfacher Schleifenstrukturen realisieren (Bild 8).

3.4 Vereinfachung durch Weglassen redundanter Entscheidungen

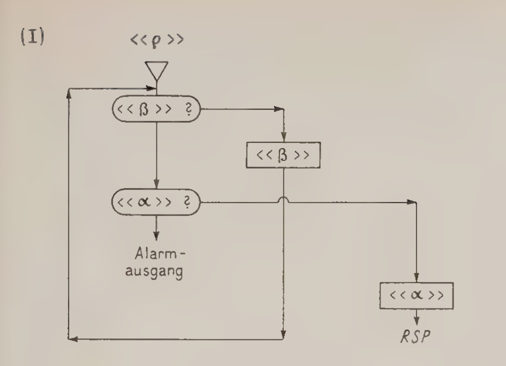
3.41 Die Frage nach der Variablen ist identisch mit der Frage nach dem ersten Zeichen (vgl. 3.211). Führt die Frage auf einen Alarm und wird die gleiche Frage mit einem Alarmausgang im Unterprogramm für die Variable bei dessen Beginn nochmals gestellt, so kann sie an einer der beiden Stellen weggelassen werden.

3.42 Wurde ein Unterprogramm auf Grund einer Frage nach einem bestimmten Zeichen aufgerufen, so braucht dieses Zeichen natürlich nicht mehr kontrolliert zu werden.

3.5 Ausführung der syntaktischen Kontrolle

Ein syntaktischer Fehler im Ausgangsprogramm führt während des Übersetzungsprogramms auf einen der Alarmausgänge. Damit der Fehler schneller lokalisiert werden kann, ist es nützlich, die Alarmausgänge zu kennzeichnen. Als Kennzeichen wird man den Namen oder die Nummer des entsprechenden Unterprogramms, ergänzt durch die Angabe der Klasse der Zeichen, die an der betreffenden Stelle syntaktisch richtig wären, festlegen.

Am Alarmausgang kann entweder ein einfacher Stopbefehl oder auch der Aufruf eines zugehörigen Druckprogramms angeschlossen werden. Dieses Druckprogramm stellt Information über den syntaktischen Fehler zur Verfügung, zum Beispiel das Kennzeichen des Alarmausgangs, das gelesene Zeichen (aus der Speicherzelle C), die Anzahl der bereits übersetzten Anweisungen usw.



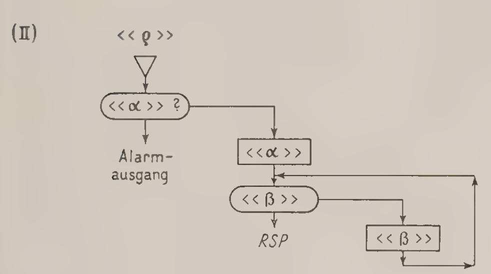


Bild 8. Die Programmschleifen zur rekursiven Definition einer Kette.

4 Vergleich zur Steuerung mittels Übergangsmatrix

4.1 Die Übergangsmatrix nach Bauer und Samelson

In diesem Abschnitt soll die von *F. L. Bauer* und *K. Samelson* beschriebene Steuerung eines Übersetzungsvorgangs mit Hilfe einer Matrix [2] [3] kurz diskutiert werden.

Die beiden Hauptelemente der Steuerung sind der *Symbolkeller* und die *Übergangsmatrix*. Im Symbolkeller werden Zustandssymbole gekellert. In der Übergangsmatrix entspricht jedem Zustandssymbol eine Spalte und jedem Grundzeichen S_i der Objektsprache einer Zeile. Die Funktionsweise wird am besten mit einem Zitat aus der Arbeit von *Bauer* und *Samelson* beschrieben:

„Durch die gesamte Besetzung des Symbolkellers wird ein Zustand (des Übersetzungsvorgangs) definiert, der effektiv in jedem Augenblick nur von dem obersten Kellerzeichen abhängt, und neugelesene Information plus Zustand bestimmen die Aktion des Übersetzers, die aus der Abgabe von Zeichen, nämlich von Operationsanweisungen für das erzeugte Programm, und der Festlegung eines neuen Zustands bestehen."

4.2 Äquivalenz von Matrix und Unterprogrammstruktur

Der *Symbolkeller* entspricht genau dem in Abschnitt 3.341.1 beschriebenen Rücksprungkeller, denn auch durch den Rücksprungkeller ist der Zustand des Übersetzers eindeutig bestimmt.

Jeder Matrixspalte entspricht eine Kette von Fragen nach allen Grundzeichen S_i (Bild 9). Es ist also für jede Kette von Fragen, die sich aus den früher beschriebenen Programmstrukturen ergeben (auch wenn die Kette nur aus einer einzigen Frage besteht), eine Matrixspalte, das heißt ein bestimmter Zustand, zu denken.

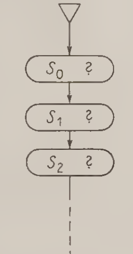


Bild 9. Die zu einer Matrixspalte äquivalente Fragenkette.

4.3 Vergleich beider Methoden

Da in den meisten Zuständen nur eine beschränkte Anzahl von Grundzeichen kommen können (oft nur ein einziges), sind in der Übergangsmatrix viele redundante Fragen enthalten. Diesen Nachteil vermeidet das hier beschriebene Verfahren mit Unterprogrammen. Die in Abschnitt 3.22 angegebenen Regeln zur Vereinfachung der Programmstruktur durch Ausschaltung redundanter Fragen können auf die Übergangsmatrix nicht angewendet werden; die Übergangsmatrix hat daher stets beträchtliche Redundanz. Außerdem kommt bei den in sich abgeschlossenen Unterprogrammen zur Übersetzung der einzelnen Einheiten der Sprache deren Hierarchie deutlich zum Ausdruck, während die Spalten der Matrix eine Gleichrangigkeit vortäuschen.

Einen Vorteil allerdings hat die Matrix gegenüber dem Verfahren mit Unterprogrammen. Steht ein so großer Kernspeicher zur Verfügung, daß die Matrix im Kernspeicher untergebracht werden kann, so trägt dies zur Beschleunigung des Übersetzungsvorgangs bei, da zur Errechnung der Adresse eines Matrixfeldes innerhalb einer Spalte nur eine einzige Addition erforderlich ist.

5 Beispiele aus der Anwendung auf ALGOL 60

5.1 Vorbemerkung

Die im Abschnitt 3.21 bezüglich der syntaktischen Definitionen gemachten Voraussetzungen sind für ALGOL 60 nicht in allen Punkten erfüllt. So müssen zum Beispiel die Marken (⟨label⟩), markierte Anweisungen (⟨statement⟩) und gewisse Listen (⟨left part list⟩ zum Beispiel) gesondert behandelt werden.

Die folgenden Anwendungsbeispiele wurden gewählt, weil darin alle behandelten Definitionstypen (teilweise in kombinierten Formen) auftreten. Außerdem stellen diese Beispiele einen zentralen Teil des Algolübersetzers dar. Die eben erwähnte gesonderte Behandlung einiger Fälle ist in diesen Beispielen nicht enthalten.

5.2 Beispiele

5.21 Bezeichnungen

rUP	rekursives Unterprogramm,
RSP	Rücksprung,
(C)	gelesenes Zeichen,
SL	Speicherfeld für den Schubladenkeller,
i	Pegel des Schubladenkellers (Adresse der letzten Eintragung in den Schubladenkeller),
PR	Programmspeicher für das generierte Programm,
p	Pegel des Programmspeichers,
Z	Zahlenkeller,
k	Pegel des Zahlenkellers,
(*X*)	Inhalt der Adresse *X*,
AP	Hilfszelle für den Ausgangsparameter des jeweiligen Unterprogramms.

Sprungbefehle, deren Zieladresse nicht bekannt ist, werden *offene Sprünge* genannt.

Die Unterprogramme sind nach den metasprachlichen Variablen benannt, die sie übersetzen.

5.22 Nicht weiter beschriebene Unterprogramme

lies *C*

Dieses Unterprogramm bringt das nächste ALGOL-Zeichen nach *C*; dabei gelten Begrenzer (⟨delimiter⟩), Bezeichnungen (⟨identifier⟩) und alle Zahlen ohne Vorzeichen (⟨unsigned number⟩) als *ein* Zeichen.

⟨Boolean expression⟩ (logischer Ausdruck)

Das Unterprogramm generiert die Befehlsliste zur Auswertung logischer Ausdrücke. Als Ausgangsparameter liefert dieses Unterprogramm in *AP* die Adresse des Ergebnisses.

⟨simple arithmetic expression⟩ (einfacher arithmetischer Ausdruck)

Das Unterprogramm generiert die Befehlsliste zur Auswertung einfacher arithmetischer Ausdrücke. Als Ausgangsparameter liefert es in *AP* die Adresse des Ergebnisses.

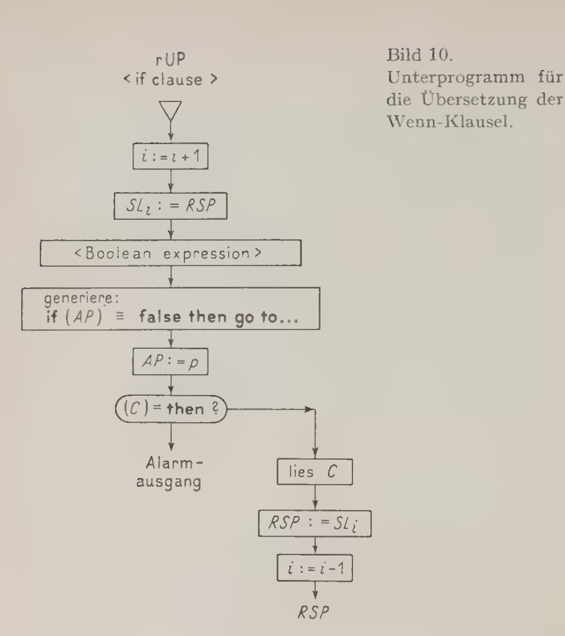


Bild 10.
Unterprogramm für die Übersetzung der Wenn-Klausel.

5.23 Übersetzung der Wenn-Klausel (⟨if clause⟩)

Die Wenn-Klausel ist im ALGOL-60-Bericht unter Punkt 3.3.1 definiert. Mit Hilfe der Wenn-Klausel können bedingte Anweisungen und bedingte Ausdrücke formuliert werden.

5.231 Syntaktische Definition

⟨if clause⟩ :: = **if** ⟨Boolean expression⟩ **then** (2R)

5.232 Analyse

Es liegt eine rekursive, anreihende Definition vor. Die Definition ist rekursiv, weil der logische Ausdruck ein bedingter Ausdruck sein kann (vgl. Beispiel aus Abschnitt 2.25). Nach Abschnitt 3.32 (Struktur zur anreihenden Definition) wären den drei Konstituenten des Definiens entsprechend drei Fragen zu stellen. Nach den Vereinfachungsregeln (Abschnitt 3.4) können die ersten beiden Fragen jedoch weggelassen werden, und es bleibt die Frage nach dem Zeichen **then**.

5.233 Die Bedeutung der Wenn-Klausel

Der Wenn-Klausel folgt stets eine Anweisung oder ein Ausdruck. Die Anweisung oder der Ausdruck werden ausgeführt, wenn der logische Ausdruck der Wenn-Klausel wahr ist. Ist der logische Ausdruck jedoch falsch, so wird der Ausdruck oder die Anweisung übersprungen. Da die Zieladresse dieses Sprunges während der Übersetzung der Wenn-Klausel noch unbekannt ist (offener Sprung), liefert das Unterprogramm als Ausgangsparameter die Adresse des offenen Sprunges.

Bild 10 zeigt den Ablauf des Unterprogramms.

5.24 Übersetzung von arithmetischen Ausdrücken (⟨arithmetic expression⟩)

Der arithmetische Ausdruck ist im ALGOL-60-Bericht unter Punkt 3.3.1 definiert.

5.241 Syntaktische Definition

⟨arithmetic expression⟩ :: = ⟨simple arithmetic expression⟩ | ⟨if clause⟩ ⟨simple arithmetic expression⟩ **else** ⟨arithmetic expression⟩ (3R)

5.242 Analyse

Es liegt eine aus dem enumerativen und dem anreihenden Definitionstypus kombinierte Definitionsform vor, die außerdem noch rekursiv ist. Nach Anwendung der Vereinfachungsregeln bleiben nur die Fragen nach den Zeichen **if** und **else** übrig.

5.243 Die Bedeutung des arithmetischen Ausdruckes

Ein arithmetischer Ausdruck kann bedingt oder unbedingt gegeben werden. Bedingte arithmetische Ausdrücke enthalten zwei verschiedene arithmetische Ausdrücke, einen ersten, der berechnet wird, wenn die Bedingung erfüllt ist, und einen zweiten, der berechnet wird, wenn die Bedingung nicht erfüllt ist.

Bild 11 zeigt den Ablauf des Unterprogramms.

Schlußbemerkungen

Die englischen Namen der metasprachlichen Ausdrücke wurden beibehalten, um den Anschluß an das internationale Schrifttum zu erleichtern. Für die deutschen Namen wurde die Übersetzung des Zentralinstituts für Automatisierung in Jena [9] mitbenützt.

Nach Abschluß des Manuskripts erschienen einige Arbeiten ([5] bis [8]) zum gleichen Thema, welche in gewissen Einzelheiten mit der hier dargelegten Systematik konform sind, aber keine Verfahren über die hier behandelten hinaus bringen.

Sowohl der Formelübersetzer als auch die vorliegende Arbeit selbst entstanden im Rahmen eines Forschungsprogramms, das vom „European Research Office" ermöglicht wurde. Der Verfasser dankt dem E. R. O. und weiters Herrn Doz. Dr. *H. Zemanek* und der Arbeitsgruppe „Mailüfterl" für wertvolle Vorschläge und Kritik.

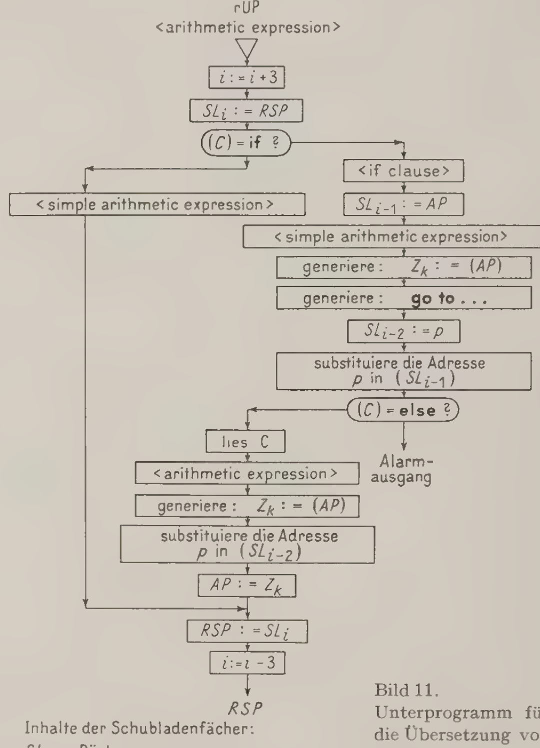


Bild 11.
Unterprogramm für die Übersetzung von arithmetischen Ausdrücken.

Literatur

[1] Report on the Algorithmic Language ALGOL 60. Comm. ACM 3 (May 1960), S. 299—314. Num. Math. 2 (1960), S. 106—136. ALGOL Bull. Suppl. no. 2 (1960).

[2] *K. Samelson, F. L. Bauer*, Sequentielle Formelübersetzung. Elektron. Rechenanlagen 1 (1959), S. 176—182.

[3] *K. Samelson, F. L. Bauer*, Sequential Formula Translation. Comm. ACM 3 (Februar 1960), S. 76—83.

[4] *R. W. Floyd*, An Algorithm Defining ALGOL Assignment Statements. Comm. ACM 3 (March 1960), S. 170—171.

[5] *P. McIsaac*, Combining ALGOL Statement Analysis with Validity Checking. Comm. ACM 3 (July 1960), S. 418—419.

[6] *H. D. Huskey, W. H. Wattenburg*, A Basic Compiler for Arithmetic Expressions. Comm. ACM 4 (Januar 1961), S. 3—9.

[7] *A. A. Grau*, Recursive Processes and ALGOL Translation. Comm. ACM 4 (Januar 1961), S. 10—15.

[8] *E. T. Irons*, A Syntax Directed Compiler for ALGOL 60. Comm. ACM 4 (Januar 1961), S. 51—55.

[9] *I. O. Kerner*, Übersetzung von [1]. Zentralinstitut für Automatisierung, Jena 1960. ALGOL Bull. Suppl. no. 3 (1960).

[10] *E. W. Dijkstra*, Recursive Programming. Num. Math. 2 (1960), S. 312—318.

Blockierte Drehprozesse in dünnen magnetischen Schichten

Locked rotation in thin ferromagnetic films

von E. FELDTKELLER
Forschungslaboratorium
der Siemens & Halske AG, München

Elektron. Rechenanl. 3 (1961); H. 4, S. 167—175
Manuskripteingang: 24. 6. 1961

Bei der Ummagnetisierung dünner ferromagnetischer Schichten mit uniaxialer Anisotropie können verschiedene Prozesse zur Bildung von Néelwänden führen, die die Schicht in viele kleine Domänen unterteilen. Die Streufelder der Néelwände behindern das Weiterdrehen der Magnetisierung in den Domänen. Dadurch werden die Hystereseschleifen verständlich, die nach der für kohärente Drehprozesse abgeleiteten Theorie (die nur gilt, wenn die Schicht eine einzige große Domäne bildet) nicht erklärt werden konnten.

Die Blockierung wird gelöst durch die Bildung und Wanderung von Blochlinien in den Néelwänden. Erst dadurch kann die Schicht vollständig ummagnetisiert werden.

Alle diese Prozesse werden durch elektronenmikroskopische Aufnahmen belegt. Es wird angenommen, daß die Langsamkeit der ,,inkohärenten Drehprozesse" auf den Streufeldern solcher Wände beruht.

If the magnetization of anisotropic thin films is reversed by rotation, different processes may build up Néel walls dividing the film into narrow domains.

The rotation in the domains is locked by stray fields of these Néel walls. So the hysteresis loops can be understood which cannot be derived from the single domain theory.

Creation and motion of Bloch lines in the Néel walls solve the locked state, thereby allowing the complete reversal of the magnetization. All these processes are shown in electron micrographs.

It is assumed that the long switching times of incoherent rotation are also based on the stray fields of Néel walls.

1. Einleitung und Grundlagen

Nickeleisenschichten von weniger als 10^{-5} cm Dicke sind ein geeignetes Objekt für prinzipielle ferromagnetische Untersuchungen, da man in diesen Schichten die Domänenkonfiguration der ganzen Probe elektronenmikroskopisch beobachten kann, während man bei massiven Ferromagnetika nur die Oberflächendomänen durch Bitterstreifen sichtbar machen kann.

Die ferromagnetischen Schichten wurden in letzter Zeit sehr intensiv untersucht, da sie in Rechenmaschinen angewandt werden können. Über den Mechanismus der Ummagnetisierung sind dabei noch einige Fragen offengeblieben. Diese einer Lösung näherzubringen ist das Ziel der vorliegenden Arbeit.

Vor der Behandlung der einzelnen Ummagnetisierungsprozesse wird zunächst eine Einführung in die Grundlagen und die hier angewandte Beobachtungstechnik gegeben.

1.1 Uniaxiale Anisotropie

Die Nickeleisenschichten werden aus der Dampfphase kondensiert (,,aufgedampft") oder aus einer Lösung elektrolytisch abgeschieden. Eine sehr übersichtliche magnetische Anisotropie erhalten die Schichten, wenn sie in einem homogenen Magnetfeld hergestellt werden. Man nimmt an, daß diese Anisotropie auf einer teilweisen Orientierung der Gitterstörstellen [1] bis [3] und der Eisenatompaare [4] beruht. Danach orientieren sich die Störstellen und die Eisenpaare bei der Herstellung vorzugsweise so, daß sie die durch das Feld erzwungene Magnetisierungsrichtung begünstigen. Dadurch wird eine leicht magnetisierbare Achse (kurz: *leichte Achse*) eingefroren, in die sich der Magnetisierungsvektor stets hineindreht, wenn kein Feld auf ihn wirkt. Senkrecht zur leichten Achse, ebenfalls in der Schichtebene, liegt die sogenannte *schwere* (auch harte) Achse. Soll die Magnetisierung in eine Richtung der schweren Achse gedreht werden, so muß in dieser Richtung mindestens die ,,*Anisotropiefeldstärke*" H_K angelegt werden.

Da die Schicht nur eine leichte Achse hat, spricht man von einer *uniaxialen Anisotropie*. Die in massiven Proben wichtige Kristallanisotropie führt hier wegen der Kleinheit der regellos orientierten Kristallite höchstens zu kleinen Richtungsschwankungen der Magnetisierung (vgl. Abschnitt 1.4). Die Auswirkung mechanischer Spannungen kann weitgehend unterbunden werden durch Wahl der magnetostriktionsfreien Legierungszusammensetzung von etwa 81% Nickel und 19% Eisen.

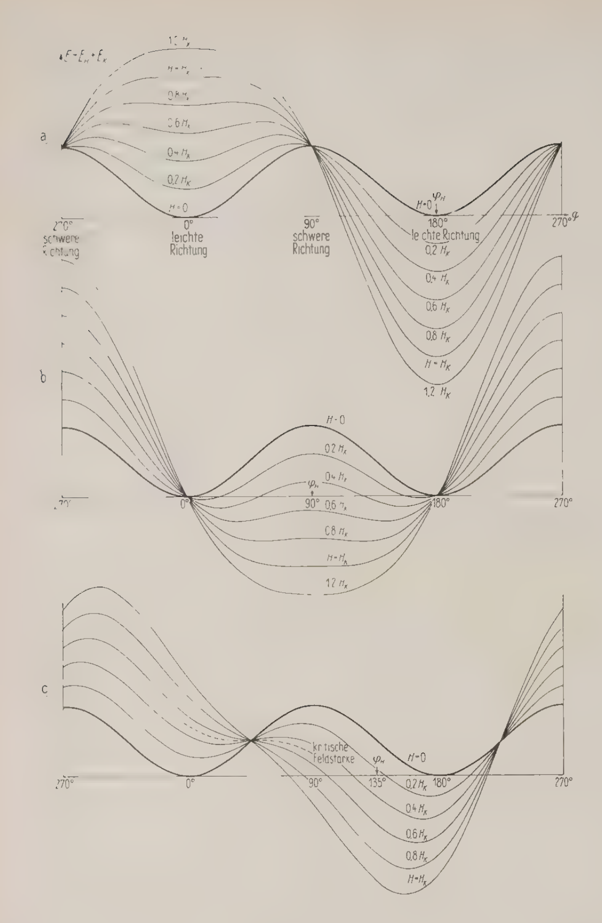


Bild 1. Summe aus Anisotropieenergie und Feldenergie in Abhängigkeit von der Magnetisierungsrichtung φ, für verschiedene Feldstärken H und Feldrichtungen φ_H.

a) Feld in einer leichten Richtung;

b) Feld in einer schweren Richtung;

c) Feld zwischen der leichten und schweren Richtung.

Damit unterliegt die Magnetisierung nur der Wirkung der uniaxialen Anisotropie, des äußeren Feldes und magnetischer Streufelder. Streufelder gehen aus von Domänenwänden und einem Teil der Probenoberfläche. Sie werden im Abschnitt 1.3 ausführlich besprochen. Man kann sie vernachlässigen, wenn das Feld in der Schichtebene liegt und die Schicht eine einheitlich magnetisierte ,,Domäne" bildet. Bei einem Verhältnis des Schichtdurchmessers zur Schichtdicke von etwa 10^4 ist die Entmagnetisierung in der Schichtebene so klein, daß die Schicht auch bei kleinen Feldstärken eine einzige Domäne bilden kann. Das Verhalten der einheitlich magnetisierten Schicht wird in Abschnitt 1.2 besprochen.

1.2 Statische Theorie der kohärenten Drehprozesse

Solange die Schicht eine einzige Domäne bildet, das heißt, eine einheitliche Magnetisierungsrichtung hat, braucht man also bei der Berechnung der stabilen Magnetisierungsrichtungen nur die Anisotropieenergie $E_K = \frac{M H_K}{2} \sin^2\varphi$ und die Feldenergie $E_H = - MH \cos(\varphi - \varphi_H)$ zu berücksichtigen. (φ Winkel zwischen Magnetisierungsrichtung und leichter Achse, φ_H Winkel zwischen Feld und leichter Achse.)

Die Abhängigkeit der Energiesumme $E = E_K + E_H$ von der Magnetisierungsrichtung φ ist für verschiedene Feldrichtungen und Feldstärken in Bild 1 dargestellt. Die Magnetisierung sucht bei jedem Feld ein Minimum dieser Energiesumme auf. Das Minimum ist bestimmt durch $\frac{\partial E}{\partial \varphi} = 0$ und $\frac{\partial^2 E}{\partial \varphi^2} > 0$. Bei kleinen Feldstärken besitzt die Magnetisierung zwei stabile Lagen in der Nähe der beiden leichten Richtungen, denn die Magnetisierung unterliegt im wesentlichen nur der uniaxialen Anisotropie. Bei großen Feldstärken besitzt die Magnetisierung nur eine stabile Richtung in der Nähe der Feldrichtung, denn $E(\varphi)$ wird überwiegend durch die Feldenergie bestimmt. Bei der Felderhöhung fällt also eines der beiden Energieminima weg, d. h. eine der beiden stabilen Richtungen wird instabil. Die Feldstärke, bei der dies eintritt, heißt *kritische Feldstärke* für irreversible Drehprozesse. Bei ihr ist für die durch $\frac{\partial E}{\partial \varphi} = 0$ gegebene Richtung zugleich $\frac{\partial^2 E}{\partial \varphi^2} = 0$. Die kritischen Feldstärken für die verschiedenen Feldrichtungen und die stabilen Magnetisierungsrichtungen wurden von *Stoner* und *Wohlfarth* [5] für kleine Eindomänenteilchen mit uniaxialer Formanisotropie berechnet. Ihr Ergebnis gilt auch für Eindomänenschichten in der Schichtebene. Die kritische Feldstärke in Abhängigkeit von der Feldrichtung läßt sich durch die Astroide

$$\left(\frac{H_K}{H}\right)^{2/3} = \sin^{2/3}\varphi_H + \cos^{2/3}\varphi_H$$

darstellen. Aus der Astroide lassen sich auch die stabilen Magnetisierungsrichtungen für alle Feldstärken und Feldrichtungen durch Tangentenbildung graphisch ermitteln. Eine sehr übersichtliche Darstellung dieser Zusammenhänge stammt von *Oguey* [6].

1.3 Magnetische Streufelder

Denkt man sich einen ferromagnetischen Körper aus lauter kleinen Stabmagneten zusammengesetzt, so entstehen überall dort magnetische Streufelder, wo ein Magnetpol nicht mit dem entgegengesetzten Pol des nächsten Stabmagneten zusammenfällt. Dies ist der Fall auf einem Teil der Oberfläche, sowie an magnetischen Inhomogenitäten (vor allem den Wänden) im Innern der Probe. Die räumliche Dichte der freien Pole läßt sich berechnen als

$$\varrho = \frac{\partial M_x}{\partial_x} + \frac{\partial M_y}{\partial_y} + \frac{\partial M_z}{\partial_z}.$$

Für diese Gleichung ist als Abkürzung $\varrho = \mathrm{div}\, \boldsymbol{M}$ üblich.

In Analogie zur Elektrostatik werden die freien Magnetpole auch als *magnetische Ladungen* bezeichnet. Man kann dann bei ,,magnetostatischen" Berechnungen völlig davon absehen, daß magnetische Ladungen in Wirklichkeit immer die Enden magnetischer Dipole sind. In weiterer Analogie zur Elektrostatik sind auch magnetische Ladungen immer Quellen magnetischer Felder, die zur Unterscheidung von dem von außen an die Probe angelegten Feld *Streufelder* genannt werden.

Das Streufeld eines ferromagnetischen Körpers läßt sich als Summe der Coulombfelder aller magnetischen Ladungen berechnen. Es wird vielfach auch ,,entmagnetisierendes Feld" genannt, da es bei massiven Proben zur Entstehung vieler kleiner Domänen und damit zur Verkleinerung des magnetischen Moments des Körpers führt. Für die Magnetisierung und ihre Streufelder gilt das Gesetz

$$\mathrm{div}\,(\boldsymbol{M} + \mu_0 \boldsymbol{H}) = 0.$$

Es besagt anschaulich gesprochen: An allen Stellen, an denen eine ,,Magnetisierungslinie" endet, muß eine Feldlinie beginnen und umgekehrt.

Magnetische *Oberflächenladungen* treten immer dort auf, wo die Magnetisierung an der Probenoberfläche eine Nor-

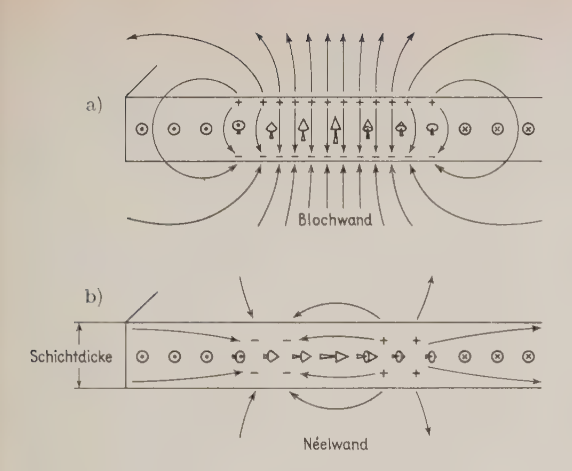


Bild 2. Magnetisierungsrichtung, magnetische Ladungen und Streufelder in Bloch- und Néelwänden.

malkomponente hat. In dünnen Schichten ist die aufgeladene Oberfläche sehr klein, wenn die Magnetisierung in der Schichtebene liegt (wie in Abschnitt 1.2 bereits vorausgesetzt wurde). Wo sie aus der Schichtebene herausgedreht ist, bewirken die entstehenden Streufelder ein starkes Drehmoment auf die Magnetisierung im Sinne einer Drehung in die Schichtebene zurück. Die Drehung der Magnetisierung in die Schichtnormale ist daher nur mit einem sehr starken Magnetfeld möglich.

An der Grenze zwischen zwei Domänen geht die Magnetisierungsrichtung stetig von einer Domäne in die andere über. In massiven Proben und dicken Schichten erfolgt die Richtungsänderung bei großen Winkeln zwischen den Magnetisierungsrichtungen der angrenzenden Domänen so, daß sich die parallel zur Wandnormale liegende Magnetisierungskomponente nicht ändert. Dadurch werden magnetische Raumladungen vermieden. Dieser Wandtyp ist als *Blochwand* bekannt, Bild 2a. In einer Blochwand entstehen an der Schichtoberfläche Oberflächenladungen. Die damit verbundene Energiedichte ist in dünnen Schichten sehr groß. Unterhalb einer „kritischen Schichtdicke" [7], [8] wird daher die Blochwand durch einen anderen Wandtyp abgelöst, bei dem die Magnetisierungsrichtung in der Schichtebene bleibt: die *Néelwand* [9], Bild 2b. Die Néelwand ist frei von Oberflächenladungen, trägt aber dafür magnetische *Raumladungen*, da sich hier die Normalkomponente der Magnetisierung (normal zur Wandebene) ändert.

Die Raumladungen verursachen Streufelder, die innerhalb der Schicht in der Schichtebene liegen. *Außerhalb der Wand haben die Streufelder die Richtung der Magnetisierung in der Wandmitte.* Ihr Einfluß auf die Magnetisierungsrichtung in den angrenzenden Domänen wird uns in Kapitel II eingehend beschäftigen.

Die Streufelder der Bloch- und Néelwände wurden von *Kaczér* [10] und von *Dietze* und *Thomas* [8] theoretisch untersucht. Die Streufeld-Energiedichte der Néelwand wird mit abnehmender Schichtdicke kleiner. Bei der „kritischen Schichtdicke" ist die Wandenergie beider Wandtypen gleich groß. Für 180°-Wände beträgt die kritische Schichtdicke rund 1000 Å [7]. Sie hängt stark vom Winkel zwischen den Magnetisierungsrichtungen beiderseits der Wand ab [11].

Die in Bild 2 dargestellten Wände tragen gleich viel positive Ladungen (Nordpole) wie negative Ladungen (Südpole). Sie sind also als Ganzes gesehen ungeladen und tragen einen magnetischen Dipolcharakter. Das gilt jedoch nicht allgemein. Wenn die Normalkomponente der Magnetisierung in den Domänen beiderseits der Wand nicht übereinstimmt, trägt die Wand einen Ladungsüberschuß eines Vorzeichens. Die Wand als Ganzes trägt dann zusätzlich zu den Dipolladungen polare Ladungen. (Zwei polar aufgeladene Wände sind in Bild 6c zu sehen.) Die Streufelder der polaren Ladungen bewirken, daß sich die Normalkomponenten der Magnetisierung beiderseits der Wand nur wenig unterscheiden, auch wo man ohne die Wirkung der Streufelder einen großen Unterschied erwarten würde.

1.4 Lokale Richtungsschwankungen der Magnetisierung

Auch innerhalb der Domänen ist nun die Magnetisierungsrichtung nicht streng einheitlich. Inhomogenitäten in der Kristallstruktur, der chemischen Zusammensetzung, oder mechanische Verspannungen führen zu kleinen lokalen Richtungsschwankungen der Magnetisierung. Auch sie sind natürlich mit Streufeldern verbunden. Die Streufelder führen dazu, daß sich die Magnetisierungsrichtung vorwiegend längs der Magnetisierungslinien ändert (longitudinal magnetization ripple, Bild 3a), während andere Konfigurationen (Bild 3b) durch die damit verbundenen Streufelder praktisch ganz unterbunden werden [12].

Es entsteht also ein wellenartiger Magnetisierungsverlauf, dessen mittlere Periode durch die Austausch- und die Streufeldkopplung bestimmt wird [13], [14], und bei dem sich benachbarte Magnetisierungslinien phasengleich krümmen, so daß die Verbindungslinie nebeneinanderliegender Links- bzw. Rechtskurven stets senkrecht zur mittleren Magnetisierungsrichtung liegt. Diese Form der lokalen Richtungsschwankungen ist von ausschlaggebender Bedeutung sowohl für die Entstehung der Wände als auch für die bei der vorliegenden Arbeit vorwiegend angewandte Beobachtungstechnik.

1.5 Beobachtungstechnik

Als Untersuchungsmethode für die Entstehung und Auswirkung der Wände ist die „defokussierte Abbildung" im Elektronenmikroskop [15] bis [17] besonders geeignet, weil sie nicht nur ein hohes Auflösungsvermögen hat, sondern vor allem auch die Magnetisierungsrichtung zwischen den Wänden erkennen läßt. Das ist bei der Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Domänen und Wänden von großem Vorteil.

Bei dieser Methode wird im Elektronenmikroskop nicht die Schicht selbst abgebildet, sondern eine etwas dahinter liegende Ebene. Die dadurch entstehende Unschärfe kann vermindert werden, indem man eine kleine Bestrahlungsapertur verwendet. In der defokussierten Ebene entstehen Intensitätsunterschiede durch die Lorentzablenkung der Elektronenstrahlen in der magnetischen Schicht. Die Aufnahmen enthalten helle und dunkle Bilder der Domänenwände und eine feine Streifenstruktur, die auf den obenerwähnten longitudinalen Richtungsschwankungen beruht

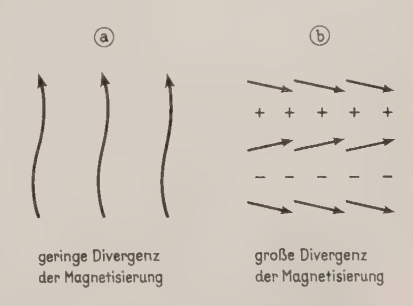


Bild 3. Lokale Schwankungen der Magnetisierungsrichtung.
a) längs der Magnetisierungslinien (longitudinal magnetization ripple);
b) quer zu den Magnetisierungslinien (lateral magnetization ripple).

[12], [13]. *Der Magnetisierungsvektor liegt für jede Stelle senkrecht zur Streifenstruktur,* und zwar in unseren Aufnahmen so, daß die benachbarte hell erscheinende Wand links von ihm und die benachbarte dunkel erscheinende Wand rechts von ihm liegt.

Alle beigegebenen Aufnahmen sind an etwa 300 Å dicken Aufdampfschichten gemacht, weil sich damit ein guter Kontrast auch in der Streifenstruktur erzielen läßt. Die gezogenen Schlüsse lassen sich aber verallgemeinern. Nach Beobachtungen mit der Bittertechnik und nach Hysteresebeobachtungen zeigen dickere Schichten qualitativ dasselbe Verhalten.

2. Entstehung der blockierenden Wände

2.1 Feldrichtung genau in der leichten oder schweren Achse

Die statische Theorie für Eindomänenschichten nach *Stoner* und *Wohlfarth* [5] ergibt für die Ummagnetisierung in der *leichten* Richtung eine rechteckige Hystereseschleife mit einer sprunghaften Ummagnetisierung bei der Feldstärke H_K, für die Ummagnetisierung in der schweren Richtung eine lineare, reversible Ummagnetisierungskurve mit der Sättigungsfeldstärke H_K (gestrichelte Linien in Bild 4). In Wirklichkeit beobachtet man z. B. die in Bild 4 ausgezogenen Hystereseschleifen. Dargestellt sind zwei Schichten mit verschiedener Koerzitivfeldstärke H_c. Schichten, bei denen $H_c > H_K$ ist, bezeichnet man nach *Smith* und Mitarbeitern [18] bis [20] als ,,*invers*".

Die in Bild 4 oben dargestellte nichtinverse Schicht wird in der leichten Richtung schon bei kleineren Feldstärken ummagnetisiert, durch Wachstum entgegengesetzt magnetisierter Domänenkeime vom Schichtrande her.

Dieser Prozeß ist von massiven Proben her seit langem bekannt. Da es sich um einen Einfluß des Randes handelt, kann die Koerzitivfeldstärke H_c durch Veränderung der Randstruktur oder Verlegung des Randes in ein Gebiet kleinerer Feldstärke stark beeinflußt werden [21], [22]. Da die Wandwanderung ein relativ langsamer Prozeß ist, hängt die Koerzitivfeldstärke von der Frequenz des angelegten Feldes ab.

In der schweren Richtung bleibt dagegen die Ummagnetisierung hinter der gestrichelten Kurve zurück: Die Magnetisierungsdrehung ist zunächst ,,blockiert". Dasselbe gilt für inverse Schichten (Bild 4 unten) in der schweren *und* leichten Richtung.

Diese Blockierung wurde mit entstehenden Wänden in Zusammenhang gebracht [18] bis [20], [23], [24], jedoch konnte eine Erklärung des Wandeinflusses erst kürzlich gefunden werden [25] bis [28]. Der blockierte Zustand wird im folgenden näher beschrieben. Die beschriebenen Beobachtungen betreffen also in der Umgebung der leichten Richtung inverse, in der Umgebung der schweren Richtung inverse und nichtinverse Schichten. (Für jede nichtinverse Schicht gibt es eine bestimmte Feldrichtung, die einen ,,inversen Feldsektor" [14] von dem Sektor trennt, in dem die Schicht bei langsamer Feldänderung vom Rand her ummagnetisiert wird, ohne daß vorher Wände im Innern entstehen.)

Bei der Felderhöhung in der leichten Richtung, wie bei der Feldverkleinerung in der schweren Richtung wird ein Energieminimum (Bild 1) immer flacher. Dadurch bekommen die lokalen Richtungsschwankungen der in diesem Minimum liegenden Magnetisierung eine immer größere Amplitude, Bild 5a. Beim Überschreiten der Feldstärke H_K geht schließlich das Energieminimum in ein Maximum über; die instabil gewordene Magnetisierung beginnt sich aus der betreffenden Richtung herauszudrehen (Bild 5b). Bei genauer Übereinstimmung von Feldrichtung und Achsenrichtung sind dabei die Rechts- und Linksdrehung der Magnetisierung gleich wahrscheinlich, so daß die zufälligen Richtungsschwankungen den Ausschlag geben. So kommt es, daß jetzt magnetische Domänen entstehen, die ein getreues Abbild der langwelligen Komponenten der Rich-

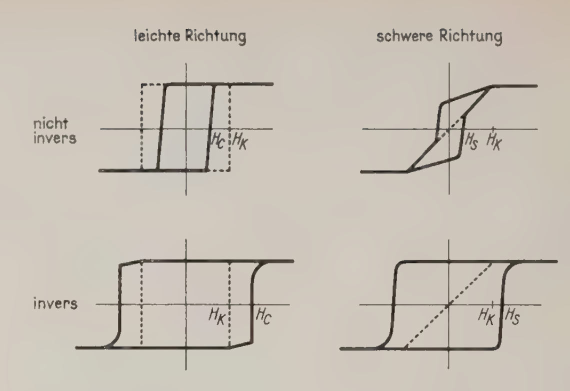


Bild 4. Hystereseschleifen in der leichten und schweren Richtung für eine inverse und eine nicht inverse Schicht. ——— gemessen bei langsamer Feldänderung, . . . berechnet nach der statischen Theorie für kohärente Drehungen.

tungsschwankungen vor der Aufspaltung in Domänen darstellen. Da sich die Magnetisierungsrichtung vorwiegend längs der Magnetisierungslinien ändert, liegen die entstehenden Wände etwa senkrecht zur Feldrichtung. Bild 5 ist nach kürzlich veröffentlichten [27] elektronenmikroskopischen Aufnahmen einer inversen Schicht gezeichnet worden. Der Zusammenhang zwischen der Domänenform nach und den Richtungsschwankungen vor der Aufspaltung ist in den Aufnahmen deutlich zu erkennen. Die Breite der Domänen liegt bei dieser Schicht zwischen 1 und 15 μ. Bei der Ummagnetisierung in der schweren Richtung ergeben sich ähnliche Bilder [13], [26].

Wenn nun zwischen den Domänen und Wänden keine magnetostatische Wechselwirkung bestünde, würde sich bei der Ummagnetisierung in der leichten Richtung die Magnetisierung der Domänen sprunghaft durch einen irreversiblen Drehprozeß in die Feldrichtung drehen. Statt dessen beobachtet man ein allmähliches Auseinanderdrehen der Magnetisierung mit zunehmender Feldstärke (Bild 5b und c). Auch bei der Ummagnetisierung in der schweren Richtung bleibt die Magnetisierungsdrehung hinter den nach *Stoner* und *Wohlfarth* erwarteten Richtungen zurück, wie aus elektronenmikroskopischen Aufnahmen [26] und der Hysterese (Bild 4) zu entnehmen ist. Schuld daran sind die Streufelder der entstehenden Wände. Unabhängig von der Schichtdicke entstehen zunächst reine ,,Néelwände" (siehe Abschnitt 1.3), in denen die Magnetisierung in der Schichtebene bleibt. Für kleine Winkel zwischen den Magnetisie-



Bild 5. Magnetisierungsrichtungen in einer inversen Schicht bei verschiedenen Feldstärken in der leichten Richtung, gezeichnet nach elektronenmikroskopi- Aufnahmen [27].

. . . . . = Néelwände,
H_K = 2,5 A/cm,
H_c = 5,5 A/cm.

a) H = 1,5 A/cm,
b) H = 3 A/cm,
c) H = 5 A/cm.

rungsrichtungen beiderseits der Wand sind Néelwände auch in dicken Schichten energetisch günstiger als Blochwände [11]. Die Magnetisierung in der Wandmitte liegt noch in der Wandnormalen, in der die Schicht vorher gesättigt war, so daß auch die Streufelder außerhalb der Wand diese Richtung haben und der Drehung der Magnetisierung in den angrenzenden Domänen entgegenwirken. Es stellt sich für jede Feldstärke die Magnetisierungskonfiguration ein, bei der sich die Drehmomente des Streufeldes, des äußeren Feldes und der Anisotropie die Waage halten. Dadurch kommt es zu der verzögerten allmählichen Magnetisierungsdrehung.

Auch die Austauschwechselwirkung bewirkt natürlich eine Kopplung zwischen den Magnetisierungsrichtungen in der Wand und den angrenzenden Domänen. Sie ist jedoch von so kurzer Reichweite, daß sie hier neben den Streufeldern zu vernachlässigen ist. In der Wand selbst dagegen spielt sie eine entscheidende Rolle, so daß in die Größe der Wandstreufelder die Austauschkonstante wesentlich mit eingeht.

Neben der mikromagnetischen Betrachtungsweise, die darauf beruht, daß das Drehmoment *an jeder Stelle* Null sein muß, gibt es auch die Möglichkeit, für die Wand einen Richtungsverlauf $\varphi(x)$ mit freien Parametern festzulegen und die Parameter so zu bestimmen, daß die *Gesamt*energie der Wände *und* Domänen ein Minimum hinsichtlich Variation der Parameter einnimmt. Auch bei dieser Betrachtungsweise ergibt sich eine Kopplung zwischen den Magnetisierungsrichtungen in den Domänen und Wänden, selbst wenn man die Streufelder außerhalb der Wände in der Energiebilanz ganz vernachlässigt [28].

Die allmähliche Drehung wird erst dann durch eine sprunghafte Ummagnetisierung abgelöst, wenn bei der Feldstärke H_c in der leichten Richtung bzw. bei der Gegenfeldstärke H_s in der schweren Richtung in den Néelwänden „Blochlinien" entstehen, indem Wandabschnitte ummagnetisiert werden, worauf in Abschnitt 3 eingegangen werden wird. Wird bei der Ummagnetisierung inverser Schichten in der leichten Richtung das Feld nicht bis H_c erhöht, so dreht sich bei einer Feldverkleinerung die Magnetisierung rückwärts auf die Ausgangslage zu und liegt beim Feld Null wieder einheitlich in der leichten Richtung, in der sie zu Beginn lag. Bei der Ummagnetisierung in der schweren Richtung ist dies auch ohne die Streufelder zu erwarten.

2.2 *Äußeres Feld schräg zu den Anisotropieachsen*

Stimmt das angelegte Feld nicht genau mit der Achsenrichtung überein, so sollte sich die Magnetisierung einer homogenen Schicht einheitlich in demjenigen Drehsinn drehen, der bei der Ummagnetisierung in der leichten Richtung über weniger als 180^0 in die Feldrichtung führt, bzw. bei der Ummagnetisierung in der schweren Richtung über weniger als 90^0 in eine leichte Richtung.

In realen Schichten sind statt dessen die Teile der Schicht, deren Magnetisierung sich nach rechts und links dreht, nur verschieden groß. Der eine Drehsinn ist gegenüber dem anderen um so mehr bevorzugt, je größer die Abweichung der Feldrichtung von der Achsenrichtung ist.

Auch hier nehmen zunächst die lokalen Richtungsschwankungen der Magnetisierung zu, bis bei der „kritischen Feldstärke" [5], [23] das Energieminimum verschwindet, bzw. ein zweites neben dem ersten entsteht. Die dabei vorliegende Magnetisierungskonfiguration entscheidet darüber, welche Teile die Rechts- bzw. Linksdrehung ausführen, d. h. wo die Wände entstehen. Die Domänen des bevorzugten Drehsinns sind jetzt im Mittel breiter als die des durch die Feldrichtung benachteiligten Drehsinnes. In der Mitte der verschieden breiten Domänen sind auch die Streufelder der Néelwände verschieden stark. Die Drehung wird also in der „bevorzugten" Domänenart durch die Streufelder weniger behindert. Dadurch und durch das unterschiedliche Drehmoment des äußeren Feldes kann sich die Magnetisierung in den bevorzugten Domänen weiter herumdrehen als in den benachteiligten.

Bei einer Verkleinerung des in der Nähe der leichten Richtung gelegenen Feldes dreht sich auch hier die Magnetisierung wieder einheitlich in *die* leichte Richtung zurück, in der sie vorher lag, falls das Feld nicht so stark war, daß bereits Wandprozesse abgelaufen sind. Die Drehung ist jedoch insofern nicht reversibel, als der Magnetisierungszustand bei einer bestimmten Feldstärke während der Feldvergrößerung und -verkleinerung nicht derselbe ist.

Bis hierher konnten alle Prozesse für die Feld*vergrößerung* in der Umgebung der leichten Achse und für die Feld*verkleinerung* in der Umgebung der schweren Achse gemeinsam beschrieben werden.

Wird der Winkel zwischen der *leichten* Achse und dem angelegten Feld weiter vergrößert, so sind die Domänen des bevorzugten Drehsinnes schließlich so breit, daß in ihnen ein anderer Prozeß zur Ausbildung weiterer Néelwände führt. Diesen Prozeß haben *Methfessel*, *Middelhoek* und *Thomas* [14] ausführlich beschrieben und nennen ihn „*teilweise Drehung*" (partial rotation) der Magnetisierung.

Bei Winkeln zwischen Feld und leichter Achse, die so groß sind, daß das Feld die Magnetisierung der ganzen Schicht zunächst einheitlich in einem Drehsinn dreht, beruht die Blockierung allein auf dem Prozeß der teilweisen Drehung. Er tritt *nur* bei der *Feldvergrößerung* auf. Bei der Feldstärkeverkleinerung in der Nähe der schweren Achse dreht sich, wenn der Winkel zwischen Feld und schwerer Richtung hinreichend groß ist, die ganze Schicht einheitlich in eine leichte Achse, um erst bei der Vergrößerung des Gegenfeldes durch die „teilweise Drehung" in Domänen unterteilt zu werden.

Zur Unterscheidung von der „partial rotation" hat sich für die Domänenaufspaltung bei der Ummagnetisierung inverser Schichten in der leichten Richtung der Ausdruck „locking" eingebürgert. Bei der Domänenaufspaltung dreht sich die Magnetisierung schon bei kleinen Feldstärken in zweierlei Drehsinn.

Die teilweise Magnetisierungsdrehung hat man sich folgendermaßen zu erklären: Unterhalb der kritischen Feldstärke für irreversible Drehprozesse wird die Schicht durch die longitudinalen Richtungsschwankungen (Abschnitt 1.4) wieder in Streifen unterteilt, die senkrecht zur mittleren Magnetisierungsrichtung liegen, und von denen immer abwechselnd ein Streifen hinter der mittleren reversiblen Magnetisierungsdrehung zurückbleibt und der nächste vorauseilt — Bild 6a. Für die vorauseilenden Streifen erreicht das Feld zuerst die kritische Feldstärke. Durch die nun ablaufende irreversible Drehung in den vorauseilenden Streifen werden die Streifen zu wirklichen Domänen, die durch Néelwände getrennt sind — Bild 6b. Die Néelwände tragen nicht nur magnetische Dipolladungen, sondern auch polare Ladungen (Bild 6c), die davon herrühren, daß hier die Normalkomponente der Magnetisierung beiderseits der Wand verschieden ist. Die Streufelder der polaren Ladungen sorgen dafür, daß der Unterschied in der Normalkomponente der Magnetisierung beiderseits der Wand nicht zu groß wird (in den Aufnahmen ist er kaum zu erkennen). Dadurch dreht sich die Magnetisierung in den zurückgebliebenen Domänen in entgegengesetztem Drehsinn wie in den vorausgeeilten. Durch die Streufelder der polaren Ladungen werden so die zurückgebliebenen („nichtgeschalteten") Domänen daran gehindert, ebenfalls die irreversible Drehung auszuführen, wenn auch für sie die kritische Feldstärke überschritten ist.

In den bei der teilweisen Drehung zurückgebliebenen Domänen und den bei der Aufspaltung benachteiligten Domänen dreht sich also die Magnetisierung in demselben Drehsinn. Die Domänen beider Entstehungsarten unterscheiden sich bei höheren Feldern nur noch in der Richtung

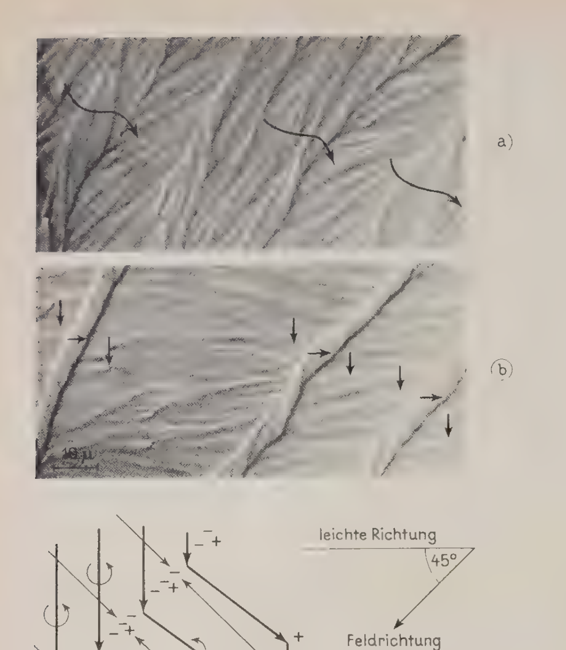


Bild 6. Teilweise Magnetisierungsdrehung in einer inversen Schicht, sichtbar gemacht durch defokussierte Abbildung im Elektronenmikroskop. $H_K = 2{,}5$ A/cm, $H_C = 5{,}5$ A/cm, Schichtdicke 270 Å.

a) $H = 1{,}5$ A/cm, $\varphi_H = 225^0$ [1]) b) $H = 2{,}5$ A/cm.

c) schematische Erklärung der Streufelder

➡ Magnetisierungsrichtung, → Streufeldrichtung,

↻ Drehmoment der Streufelder auf die Magnetisierung

der Wände. In der Aufnahme von Bild 7 [2]) sind beide Prozesse nebeneinander zu beobachten.

Die Bildung von Néelwänden durch teilweise Drehung kann auch an nichtinversen Schichten beobachtet werden, wenn man die Feldrichtung so wählt, daß sie im inversen Feldsektor [14] liegt, d. h. daß in Feldrichtung die Wandwanderungsfeldstärke größer ist als die kritische Feldstärke für irreversible Drehprozesse. Bei inversen Schichten umfaßt der inverse Sektor alle Richtungen.

Die breiten, bei der teilweisen Drehung „geschalteten" Domänen kehren nun auch nicht mehr vollständig in den Ausgangszustand zurück, wenn das Feld verkleinert wird, ohne daß der blockierte Zustand durch ein großes Feld zerstört wurde. Statt dessen bilden sich bei der Feldverkleinerung sogenannte *Labyrinthdomänen* [14], [29], deren Entstehung ebenfalls durch eine Aufteilung in vorausgeeilte und zurückgebliebene Domänen erklärt werden kann:

Bei der Verkleinerung des äußeren Feldes drehen, wie bereits erwähnt, die Streufelder die Magnetisierung jeder

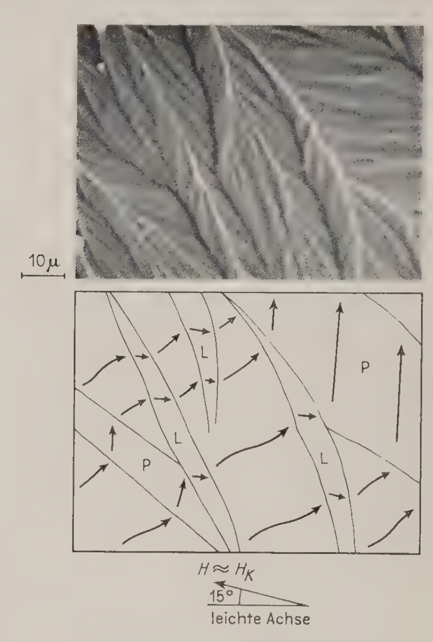


Bild 7. Aufspaltung und teilweise Drehung nebeneinander. *P* durch teilweise Drehung bereits vorausgeeilte Domänen. *L* bei der Aufspaltung entgegengesetzt gedrehte Domänen. $H = 2{,}5$ A/cm, $\varphi_H = 165^0$. [1])

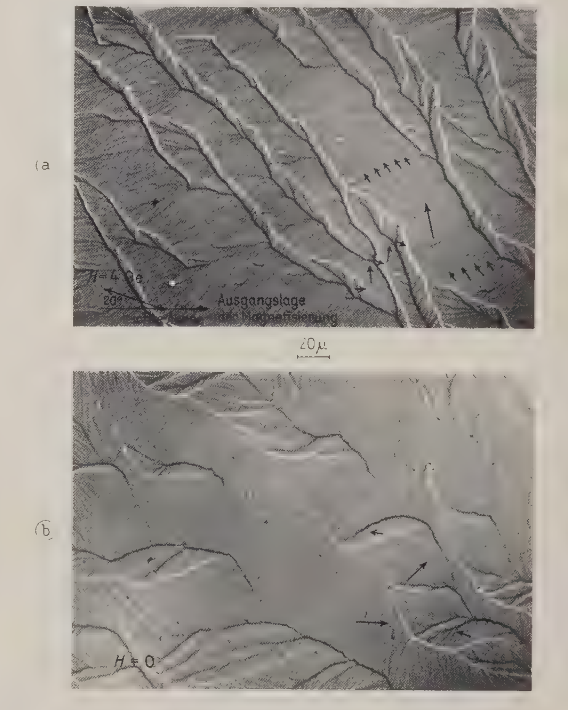


Bild 8. Entstehung von Labyrinthdomänen bei der Feldverkleinerung. a) $H = 3$ A/cm, $\varphi_H = 160^0$ [1]) b) $H = 0$.

---

[1]) Die Feldrichtung φ_H ist von der ursprünglichen Magnetisierungsrichtung (horizontal nach rechts) aus, entgegen dem Uhrzeigersinn gezählt, angegeben. *Die leichte Achse liegt in allen Bildern horizontal.*

[2]) Daß die Aufspaltung noch bei sehr großen Winkeln zwischen Feld und leichter Richtung auftritt, braucht nicht zu bedeuten, daß die Schicht eine dermaßen große Richtungsstreuung der Anisotropie besitzt. Die Aufspaltung bei solchen Feldrichtungen ist folgendermaßen zu verstehen: Auch die longitudinalen Richtungsschwankungen (Bild 3a) sind nicht ganz frei von Divergenzen der Magnetisierung. Die Magnetisierung verläuft deshalb nicht ganz wellenförmig, sondern bildet schwach ausgeprägte Wände überall in den Domänen, wie es in Bild 3a angedeutet ist. Wenn eine solche Wand sich bei der Magnetisierungsdrehung nicht laufend umordnet (was besonders in inversen Schichten erschwert ist), wird sie magnetisch aufgeladen, und ihr Streufeld bewirkt eine Rückwärtsdrehung auf einer Seite der Wand, genau wie es für die durch „teilweise Drehung" entstandenen Wände gezeigt wurde. Dadurch vergrößert sich der Richtungsunterschied beiderseits der Wand, d. h. die Wand wird ausgeprägter. So können schon bei kleinen Feldstärken Domänen entstehen auch bei Feldrichtungen, die weit außerhalb der Richtungsstreuung der leichten Achse liegen.

Domäne auf die ursprüngliche Richtung zu. Die Summe aus Anisotropie- und Feldenergie (des äußeren Feldes) nimmt dabei nacheinander die in Bild 1c dargestellten Richtungsabhängigkeiten an. Zwischen der Magnetisierungsrichtung in den „geschalteten" Domänen und der leichten Richtung, in der die Magnetisierung ursprünglich lag, entsteht bei der Feldverkleinerung ein Energiemaximum. Die Magnetisierung (die natürlich auch hier wieder einer longitudinalen Richtungsstreuung unterworfen ist) wird durch die Streufelder über dieses Maximum hinweggedreht. Wieder überschreiten vorauseilende Streifen das Maximum zuerst. Ist eine Domäne breit genug, so wird sie auch bei diesem irreversiblen Prozeß wieder aufgeteilt in vorausgeeilte und zurückgebliebene Teile, die durch Néelwände getrennt sind (Bild 8). Die polaren Streufelder dieser Wände hindern die zurückgebliebenen Teile daran, den Drehprozeß auszuführen und ebenfalls in die ursprüngliche Richtung zurückzukehren. Die Dipolstreufelder der Néelwände dagegen hindern die vorausgeeilten Teile daran, sich vollends in die leichte Richtung zu drehen, und die zurückgebliebenen Teile, sich in die entgegengesetzte leichte Richtung zu drehen. Die Wände liegen senkrecht zur Magnetisierungsrichtung während des Übergangs über das Energiemaximum. Ob solche Labyrinthdomänen entstehen, hängt ab von der Breite der geschalteten Domänen vor der Feldverkleinerung. In Bild 8b sind überall dort Labyrinthdomänen entstanden, wo die Domänenbreite in Bild 8a mehr als 30 μ betrug. In schmaleren Domänen entstehen Labyrinthdomänen vorübergehend, verschwinden aber wieder, bevor das Feld den Wert Null erreicht hat.

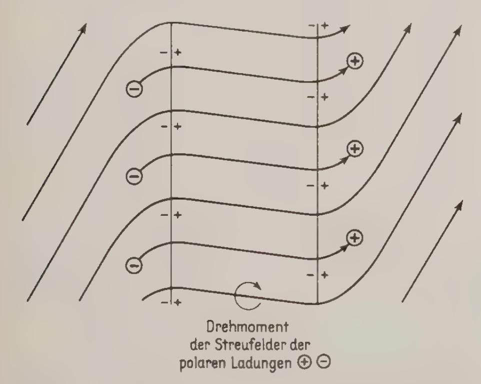


Bild 9. Zur Erklärung der Abstoßung eng benachbarter Néelwände: Schematischer Verlauf der Magnetisierungslinien.

3. Lösung der Blockierung

Bisher haben wir uns damit beschäftigt, wie die blockierenden Wände entstehen. In diesem Abschnitt wird gezeigt, welche Prozesse bei weiterer Felderhöhung (bzw. in der schweren Richtung bei Anlegen und Vergrößerung eines Gegenfeldes) zur Beseitigung der entstandenen Wände und damit schließlich zur Sättigung der Schicht in Feldrichtung führen. Die in Abschnitt 2 besprochenen Wände mögen also jetzt bereits vorliegen.

Wenn das Feld in der leichten oder schweren Richtung liegt, können die Wände nicht wandern, denn das Feld übt keine Kraft auf sie aus. Die Domänen sind bezüglich der Feldrichtung alle gleichwertig. Aber auch in einem Feld, das schräg zur leichten Achse liegt, verschwinden die Wände nicht dadurch, daß sie aufeinander zulaufen und sich gegenseitig auflösen. Hin und wieder kann man Wände beobachten, deren Abstand 1 μ und weniger beträgt (siehe z. B. in Bild 8a, ganz links und unten), und die sich trotzdem nicht vereinigen und dadurch auflösen. Daß dies nicht geschieht, liegt wieder an den Streufeldern. Vor der Vereinigung müßte die Magnetisierung einen Verlauf annehmen,

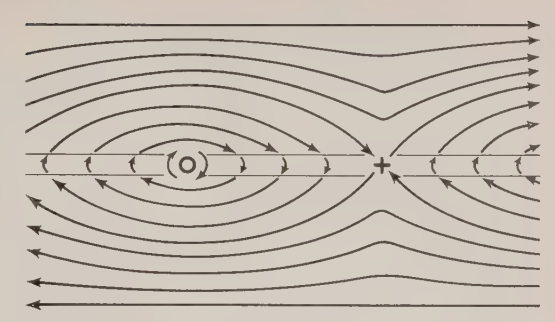


Bild 10. Blochlinien, die Néelwandabschnitte verschiedener Magnetisierungsrichtung trennen.
o = Kreisblochlinie + = Kreuzblochlinie.

wie in Bild 9 dargestellt. Die Magnetisierung zwischen den Wänden müßte sich der Wandnormalen nähern. Die Wände würden, je kleiner ihr Abstand ist, um so mehr polar aufgeladen werden und stoßen einander ab, da nur durch eine Vergrößerung des Wandabstandes die Magnetisierung zwischen den Wänden sich von der Wandnormalen wegdrehen kann, wie es die Streufelder dieser Ladungen verlangen.

3.1 *Blochlinien*

Dagegen können die Néelwände durch die Bildung und Wanderung sogenannter *Blochlinien* ummagnetisiert werden. Diesen Vorgang kann man wieder im Elektronenmikroskop gut beobachten. Blochlinien [7] verlaufen in der Wand senkrecht zur Schichtebene und trennen Néelwandabschnitte verschiedener Magnetisierungsrichtung[3]), Bild 10. Je nach der Magnetisierungskonfiguration rings um die Blochlinie ergeben sich zweierlei Arten: Blochlinien, die von der Magnetisierung *kreis*förmig umlaufen werden, sind in den erklärenden Skizzen der folgenden Bilder mit o symbolisiert, und Blochlinien, an denen die Magnetisierung *kreuz*förmig zusammen- und auseinanderläuft, mit +. Die vielfach beschriebenen Stachelwände [7], [31] tragen beide Blochlinienarten abwechselnd in regelmäßigen Abständen. Bei der defokussierten Abbildung im Elektronenmikroskop äußern sich die o-Blochlinien durch verstärkte Punkte von derselben Farbe (schwarz oder weiß), welche die Wand hat, die +-Blochlinien dagegen durch Stacheln von entgegengesetzter Farbe [17].

3.2 *Blochlinienwanderung*

In Bild 11 ist bei der Ummagnetisierung in der leichten Richtung das erste Blochlinienpaar entstanden, indem die Magnetisierung eines Wandabschnittes in die Feldrichtung umgesprungen ist. Dadurch fallen die blockierenden Streu-

[3]) Auch die Trennungslinien zwischen verschieden magnetisierten Blochwandabschnitten, die selbst Néelwandcharakter haben und Raumladungen tragen, werden Blochlinien genannt [7], [30].

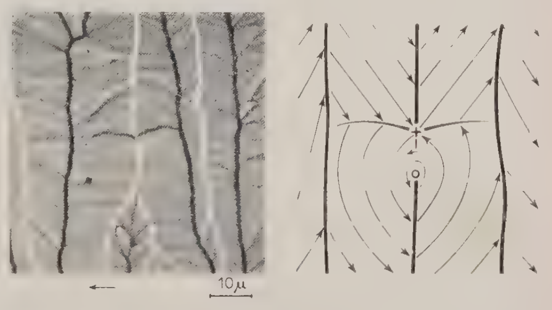


Bild 11. Bildung eines Blochlinienpaares bei der Ummagnetisierung einer inversen Schicht in der leichten Richtung.
H 5 A cm.

felder weg, und die Umgebung kann an dieser Stelle in Feldrichtung gesättigt werden, so daß zwischen den Blochlinien keine Wand mehr vorhanden ist. Die Blochlinien wandern unter der Einwirkung des Feldes auseinander, indem sie entlang der Wände Barkhausensprünge ausführen. Daneben entstehen weitere Blochlinienpaare, wobei oft mehrere Blochlinien (je eine auf mehreren Wänden) magnetostatisch gekoppelt sind und gemeinsame Sprünge ausführen. Eine solche Blochlinienschar auf einer großen Schar von Néelwänden (Bilder 12a und b) läßt sich auch als Stachelwand mit einseitig verlängerten Stacheln beschreiben [32]. Sie entspricht der Wand, die bei nichtinversen Schichten die Ummagnetisierung in der leichten Richtung besorgt (Bild 12c) und von der zu Beginn des Abschnittes 2 die Rede war. Den Barkhausensprüngen der Blochlinienschar über blockierte Gebiete der Schicht entsprechen die Barkhausensprünge der Wand über noch nicht ummagnetisierte Bereiche. In schwach inversen Schichten setzt auch die Blochlinienbildung oft auf den randnahen (durch das entmagnetisierende Feld des Schichtrandes beeinflußten) Néelwänden zuerst ein und es entstehen dreieckförmige ummagnetisierte Domänen wie in nichtinversen Schichten. Die Ummagnetisierung der Schicht ist vollendet, wenn über jede Stelle der Blockierungswände eine Blochlinie hinweggelaufen ist. Die Koerzitivfeldstärke H_c inverser Schichten in der leichten Richtung wird durch die Wanderung von Blochlinienscharen bestimmt.

Dasselbe Bild zeigt sich auch bei der Ummagnetisierung in der *schweren* Richtung, falls die Feldstärke, bei der sich das Paar bildet, größer als H_K ist. Ist diese Feldstärke jedoch kleiner als H_K, so bleibt die Wand zwischen den Blochlinien bestehen, weil die äußere Feldstärke auch nach Wegfallen der Streufelder nicht zur Sättigung ausreicht. Die Streufelder des ummagnetisierten Wandabschnittes addieren sich dem äußeren Feld und drehen jetzt die Magnetisierung in Wandnähe gegenüber der Umgebung voraus. Die vorausgedrehten Teile sind im Elektronenmikroskop deutlich zu sehen, äußern sich aber in der Hysterese nicht, weil solche Schichten nach dem Sprung in der Hysterese, d. h. nach dem Durchlaufen der Blochlinien, meist bedeutend weniger Wände enthalten als vorher.

An den schmalen Domänen bei schräger Feldrichtung entstehen meist zwei Blochlinienpaare in einem Prozeß, wodurch ein ganzer Domänenabschnitt in die Feldrichtung ummagnetisiert wird — Bild 13.

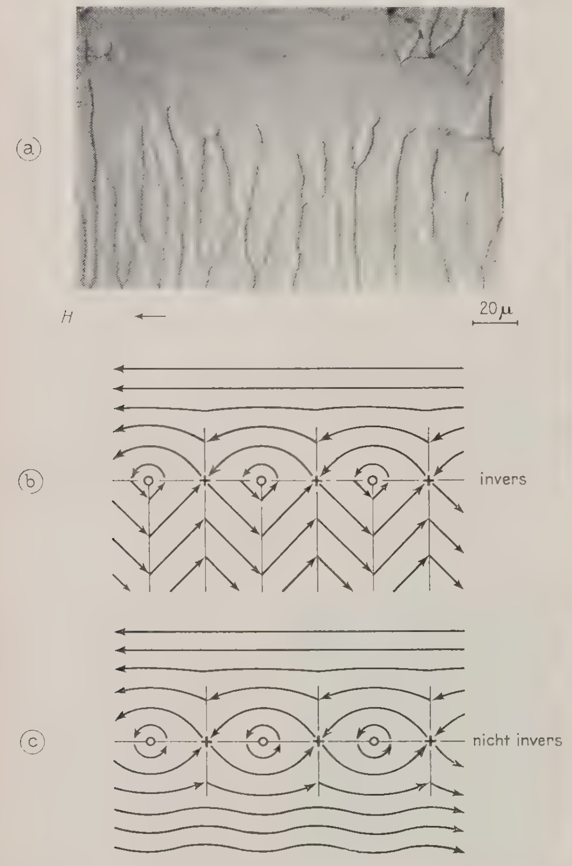


Bild 12. Ummagnetisierung in der leichten Richtung durch Wanderung einer Blochlinienschar bzw. Stachelwand.
a) und b) in einer inversen Schicht.
c) in einer nicht inversen Schicht.

4. Isolierte Magnetisierungswirbel, 360°-Wände

Wird nach der Entstehung eines einzelnen Blochlinienpaares (Bild 11) das Feld abgeschaltet, so verschwinden die Néelwände in der Umgebung, wie in Abschnitt 2, 1 beschrieben, durch Rückwärtsdrehung der Magnetisierung in die Ausgangslage. Die beiden Blochlinien bleiben jedoch erhalten. Es entsteht ein isolierter Magnetisierungswirbel in der Schicht, der in Bild 14 wiedergegeben ist. Die Magnetisierung umläuft die o-Blochlinie. Der Wirbelradius wird durch den Abstand der beiden Blochlinien bestimmt und beträgt in der Aufnahme etwa 5 µ. Die gebogenen Stacheln an der +-Blochlinie rühren davon her, daß die Magnetisierung der Umgebung den Wirbel umgehen muß. Da in einem Wirbel auf kleinem Raum ziemlich viel Austausch-, Anisotropie- und Streufeldenergie gespeichert ist, ist es nicht selbstverständlich, daß ein einzelner Wirbel überhaupt stabil ist. Deshalb überrascht es nicht, daß er schon durch ein relativ kleines Gegenfeld zerstört werden kann (die beiden Blochlinien laufen aufeinander zu und lösen sich auf). Auch die Zerstörung eines Wirbels beim Feld Null nach einiger Zeit, allein durch das fluktuierende Feld, wurde in einem Fall beobachtet.

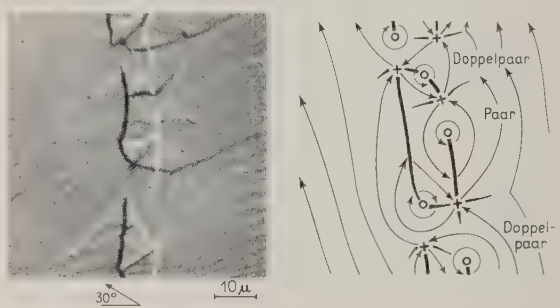


Bild 13. Blochlinienpaare und -Doppelpaare.
$H = 5\,\mathrm{A/cm}$, $\varphi_H = 150^0$ (siehe Fußnote [1]) auf S. 172)

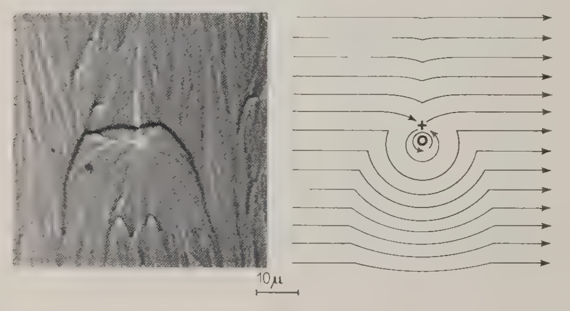


Bild 14. Isoliertes Blochlinienpaar beim Feld Null (entstanden durch Feldabschalten aus Bild 11).

Entsprechend entsteht aus einem Blochliniendoppelpaar (Bild 13) durch Abschalten des Feldes ein zusammenhängender Rechts- und Linkswirbel. Kleine Domänen, die von 6, 8 . . . Blochlinien begrenzt sind, konnten hergestellt werden.

In sehr dünnen Schichten (unterhalb 200 Å Schichtdicke) ist die Blochlinienwanderung so schwer und die Reichweite der Streufelder so gering, daß sich die Magnetisierung in den Domänen in die Feldrichtung drehen kann, ohne daß die Wand durch Blochlinienwanderung ummagnetisiert wird. Auf diese Weise entstehen 360°-Wände, die in einer besonderen Veröffentlichung noch ausführlich behandelt werden sollen [33].

5. Schlußbetrachtung

Zum Schluß soll noch kurz versucht werden, die gewonnenen Erkenntnisse auf die sehr schnelle Ummagnetisierung durch Impulse zu übertragen, da die einzelnen Vorgänge bei der schnellen Magnetisierungsdrehung der direkten Beobachtung noch nicht zugänglich sind.

Liegt die Feldrichtung in der Nähe der leichten Achse, so dürften auch bei raschem Feldanstieg durch die beschriebene Aufspaltung Néelwände entstehen, und zwar sowohl in inversen als auch in nichtinversen Schichten. Tatsächlich beobachtet man in der Nähe der leichten Richtung nur inkohärente Drehprozesse mit Ummagnetisierungszeiten um 10^{-7} s. Die Langsamkeit der inkohärenten Drehung dürfte auf den Streufeldern der entstehenden Néelwände beruhen. Die Ummagnetisierung ist auch hier erst beendet, wenn die Néelwände wieder aufgelöst sind. Geschieht die Auflösung durch Blochlinienwanderung, so müßte der mittlere Blochlinienabstand, falls die Blochliniengeschwindigkeit in der Größenordnung der von *Ford* [36] gemessenen Wandgeschwindigkeit liegt, etwa 50 μ betragen. Eine solche Blochliniendichte erscheint, wenn das Feld rasch auf $H > H_c$ gebracht wird, durchaus plausibel.

Bei schrägen Feldrichtungen ist eine Wandbildung durch „teilweise Drehung" (im Sinne der Arbeit von *Methfessel, Middelhoek* und *Thomas* [14]) nicht zu erwarten, wenn das Feld in weniger als 10^{-9} s über die kritische Feldstärke aller Schichtteile gebracht wird. Wegen ihrer Kreiselnatur gerät die Magnetisierung bei raschem Feldanstieg nicht auf den horizontalen Wendepunkt der Energie, bei dem die „teilweise Drehung" zur Wandentstehung führen würde.

Dagegen können hier die Inhomogenitäten der Schicht auch ohne den speziellen Mechanismus der „teilweisen Drehung" zur Wandbildung führen:

Während bei langsamer Feldänderung die Magnetisierungsrichtung durch die jeweilige Lage des Energieminimums (Bild 1) vorgegeben ist, befindet sich die Magnetisierung bei der schnellen Drehung unterwegs zum neuen Minimum irgendwo auf der Schräge der Energiekurve.

Auf Grund der Richtungsstreuung der Anisotropieachsen ist das Drehmoment, durch das die Schicht ummagnetisiert wird, ortsabhängig. Die Magnetisierung wird sich in der Schicht unterschiedlich schnell drehen. Dadurch können Wände entstehen, die sich so anordnen werden, daß sie während der Entstehung polfrei sind. Dreht sich die Magnetisierung in einheitlichem Drehsinne weiter, so werden diese Wände magnetisch aufgeladen, und die Streufelder behindern die Drehung zu beiden Seiten der Wand, solange die Wand ihre Lage nicht verändert. Die Streufelder werden außerdem die Kohärenz der Drehung in benachbarten Teilen der Schicht zerstören und so zur Bildung weiterer Wände führen.

Dieser zuletzt beschriebene Prozeß könnte dafür verantwortlich gemacht werden, daß inverse Schichten kein kohärentes Drehschalten zeigen [37]. Ob die weitgehend kohärente Drehung in nichtinversen Schichten, die nur wenige 10^{-9} s benötigt [37], [38], dadurch ermöglicht wird, daß in diesen Schichten tatsächlich kaum Wände entstehen oder dadurch, daß die Wände sich in nichtinversen Schichten so schnell umordnen oder auflösen, daß sie nicht zur Auswirkung kommen, kann nach den vorliegenden Untersuchungen nicht entschieden werden.

Der Verfasser dankt Herrn Dipl.-Phys. E. Fuchs für die Herstellung der Aufnahmen.

Literatur

[1] *W. Andrä* und *O. Stemme*, Ber. d. Arbeitsgem. Ferromagnetismus 1959, 104.
[2] *Z. Málek* und *W. Schüppel*, Ber. d. Arbeitsgem. Ferromagnetismus 1959, 109. — Ann. Phys., Lpz. (7) 6, 252 (1960).
[3] *R. D. Heidenreich, E. A. Nesbitt* und *R. D. Burbank*, J. appl. Phys. 30, 995 und 1000 (1959).
[4] *L. Néel*, J. Phys. Rad. 15, 225 (1954).
[5] *E. C. Stoner* und *E. P. Wohlfarth*, Phil. Trans. roy. Soc. A 240, 599 (1948).
[6] *H. J. Oguey*, Proc. IRE 48, 1165 (1960).
[7] *S. Methfessel, S. Middelhoek* und *H. Thomas*, IBM-J. 4, 96 (1960).
[8] *H. D. Dietze* und *H. Thomas*, Z. Physik 163 (1961).
[9] *L. Néel*, Compt. Rend. 241, 533 (1955).
[10] *J. Kaczér, Czech J.*, Phys. 7, 557 (1957).
[11] *H. Thomas*, Veröffentlichung in Vorbereitung.
[12] *H. W. Fuller* und *M. E. Hale*, J. appl. Phys. 31, 238 (1960).
[13] *E. Fuchs*, Z. angew. Physik 13, 157 (1961).
[14] *S. Methfessel, S. Middelhoek* und *H. Thomas*, J. appl. Phys. 32 (1961).
[15] *H. Boersch*, Ber. d. Arbeitsgem. Ferromagnetismus 1959, 78.
[16] *H. Boersch, H. Raith* und *D. Wohlleben*, Z. Physik 159, 388 (1960).
[17] *E. Fuchs*, Naturwiss. 47, 392 (1960).
[18] *D. O. Smith*, Structure and Properties of thin Films, New York 1959, S. 380.
[19] *J. I. Raffel* und *D. O. Smith*, Information Processing, München 1960, S. 447.
[20] *D. O. Smith, E. E. Huber, M. S. Cohen* und *G. P. Weiss*, J. appl. Phys. 31 Suppl., 295 S (1960).
[21] *S. Methfessel, S. Middelhoek* und *H. Thomas*, J. appl. Phys. 32 Suppl., 294 S (1961).
[22] *J. Brackmann, W. Kusterer* und *W. Metzdorf*, Z. angew. Physik 13, 313 (1961).
[23] *D. O. Smith*, J. appl. Phys. 29, 264 (1958).
[24] *C. D. Olson* und *A. V. Pohm*, J. appl. Phys. 29, 274 (1958).
[25] *S. Middelhoek*, Z. angew. Physik 13, 151 (1961).
[26] *E. Feldtkeller*, Z. angew. Physik 13, 161 (1961).
[27] *E. Feldtkeller*, Naturwiss. 48, 474 (1961).
[28] *R. J. Spain* und *H. Rubinstein*, J. appl. Phys. 32 Suppl., 288 S (1961). — Laboratory for Electronics Inc., Annual Report No 570 — A 2 (1960).
[29] *D. O. Smith*, J. appl. Phys. 32 Suppl., 70 S (1961).
[30] *S. Shtrikman* und *D. Treves*, J. appl. Phys. 31 Suppl., 147 S (1960).
[31] *E. E. Huber, D. O. Smith* und *J. B. Goodenough*, J. appl. Phys. 29, 294 (1958).
[32] *H. W. Fuller* und *H. Rubinstein*, J. appl. Phys. 30 Suppl., 84 S (1959).
[33] *E. Feldtkeller* und *W. Liesk*, erscheint in Z. angew. Physik.
[34] *F. B. Humphrey*, J. appl. Phys. 29, 284 (1958).
[35] *F. B. Humphrey* und *E. M. Gyorgy*, J. appl. Phys. 30, 935 (1959).
[36] *N. C. Ford*, J. appl. Phys. 31 Suppl., 300 S (1960).
[37] *W. E. Proebster*, Elektron. Rechenanl. 1, 164 (1959).
[38] *W. Dietrich, W. E. Proebster* und *P. Wolf*, IBM-J. 4, 189 (1960).

Apparate und Anlagen

Das IBM 1410 Datenverarbeitungssytem

Das erste Datenverarbeitungssystem der IBM 1400-Serie, die IBM 1410, wurde entwickelt, um eine bestehende Lücke zwischen kleineren und größeren Datenverarbeitungsanlagen zu schließen und um damit auch für den sogenannten intermediären Bereich der Datenverarbeitung eine leistungsfähige und wirtschaftliche Anlage zur Verfügung zu stellen. Die IBM 1401 verdankt ihre Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Anwendung modernster technischer Erkenntnisse. Sie ist ein volltransistorisiertes, mit hoher Geschwindigkeit arbeitendes, speicherprogrammiertes Datenverarbeitungssystem, das die Programmflexibilität größerer Systeme aufweist (s. hierzu Elektron. Rechenanl. 2 (1960), H. 1, S. 33—40, „Das IBM 1401 Datenverarbeitungssystem").

Das neue System der IBM 1400-Serie, das IBM 1410 Datenverarbeitungssystem, beruht auf der gleichen Grundkonzeption, die auch für die Entwicklung der IBM 1401 maßgebend war.

Einige der wesentlichen Eigenschaften der IBM 1410 sind:

1. Speicherprogrammierung
2. volle Transistorisierung
3. alphanumerische Speicherung mit variabler Feld- und Satzlänge
4. unabhängige Eingabe/Ausgabe-Pufferbereiche
5. große Speicherkapazitäten (10000, 20000 oder 40000 Kernspeicherstellen)
6. hohe interne Geschwindigkeit (Speicherzyklus 4,5 Mikrosekunden)
7. Instruktion Tabellenlesen
8. 15 Indexregister
9. große Programmflexibilität
10. bis zu 250000000 Stellen Plattenspeicherkapazität

Diese Einrichtungen ermöglichen es, Daten in größtem Umfang auch aus solchen Anwendungsgebieten zu verarbeiten, die für den intermediären Bereich der Datenverarbeitung charakteristisch sind.

Aufbau und System-Zusammenstellungen

Das IBM 1410 Datenverarbeitungssystem ist nach dem Baukastenprinzip aufgebaut. Die drei grundlegenden Systembestandteile sind die IBM 1411 Zentraleinheit, die IBM 1414 Ein/Ausgabe-Steuereinheit und das IBM 1415 Steuerpult.

Die IBM 1411 Zentraleinheit

In der IBM 1411 Zentraleinheit befindet sich der Magnetkernspeicher, der alphanumerische Zeichen und Sonderzeichen mit folgenden Kapazitäten speichert:

Modell 1 10000 Kernspeicherstellen
Modell 2 20000 Kernspeicherstellen
Modell 3 40000 Kernspeicherstellen

Außerdem enthält die Zentraleinheit die Stromkreise für die Rechen- und Programmsteuerung, die verschiedenen Adreßregister und Stromkreise für die Maschinenlogik, die Prüfungen und den sonstigen 1410-Datenfluß. Die Daten werden seriell mit einer Geschwindigkeit von 4,5 Mikrosekunden pro Zeichen übertragen. Alle Daten, die in die IBM 1410 eingegeben werden oder die sie verlassen, müssen die IBM 1411 durchlaufen, wobei eine Reihe von Datenprüfungen durchgeführt werden.

Die IBM 1414 Ein/Ausgabe-Steuereinheit

In dieser Einheit befinden sich die Steuer- und Pufferstromkreise für die Übertragung der Daten von und zu den Ein/Ausgabeeinheiten. Im einzelnen sind je ein 80stelliger Abfühl- und Stanzpuffer vorhanden sowie ein 132stelliger



Bild 1. IBM 1410 Datenverarbeitungssystem.

Druckpuffer. Diese Einrichtungen ermöglichen es, daß interne Verarbeitung und Eingabe/Ausgabeeinheiten unabhängig voneinander operieren können, wodurch der Wirkungsgrad und die Fähigkeiten des 1410 Systems voll ausgenutzt werden.

Das IBM 1415 Steuerpult

Diese Einheit enthält die Bedienungstasten, Anzeigelampen und Kontrollschalter des IBM 1410 Datenverarbeitungssystems. Sie setzt sich aus dem Steuerteil der Ein/Ausgabeschreibmaschine und der Anzeigetafel zusammen. Mit dem Steuerpult kann der Bediener in direkte Verbindung mit dem System treten. Es ermöglicht ihm, sehr weitgehende Abfrageoperationen und Programmprüfungen vorzunehmen. Alle adressierbaren Register und Speicherplätze können durch entsprechende Anzeigen abgelesen werden. Ferner können unter der Steuerung des Programms Meldungen ausgegeben werden.

Die Ein/Ausgabeschreibmaschine kann 64 Zeichen (10 numerische, 26 alphabetische und 28 Sonderzeichen), ein Wortmarkenzeichen und ein Unterstreichungssymbol (für ungültige Bitzahl) schreiben.

Die drei vorgenannten Einheiten, die IBM 1411 Zentraleinheit, die IBM 1414 Ein/Ausgabe-Steuereinheit und das IBM 1415 Steuerpult bilden die Grundlage, auf der sich die Systemkombinationen des IBM 1410 Systems aufbauen, nämlich

1. Das IBM 1410 Kartensystem
2. Das IBM 1410 Bandsystem
3. Die IBM RAMAC 1410

Das IBM 1410 Kartensystem

Die Aus/Eingabe-Einheiten, die zur Bildung des IBM 1410 Kartensystems den drei grundlegenden Einheiten hinzugefügt werden können, sind die IBM 1402 Kartenabfühl- und Stanzeinheit, Modell 2, und der IBM 1403 Drucker. Mit der Kartenabfühl- und Stanzeinheit können bis zu 800 Karten in der Minute abgefühlt werden, während gleichzeitig bis zu 250 Karten in der Minute gestanzt werden können, ohne daß hierbei die Datenverarbeitung wesentlich unterbrochen wird. Das Stanzen und Abfühlen wird automatisch geprüft. Die Einheit ist mit fünf Ablagefächern versehen, in die die Karten durch das Programm (für Abfühl- und Stanzeinheit je die drei nächstliegenden Fächer) gesteuert werden. Außerdem kann die Einheit zusätzlich mit einer 51spaltigen Verarbeitungseinrichtung bei der Abfühleinheit versehen werden.

Der IBM 1403 Drucker druckt mit einer Kettendruckeinrichtung maximal 600 Zeilen pro Minute, wobei jede Zeile 100 oder 132 Druckstellen hat. An jeder Druckstelle können 48 verschiedene Zeichen gedruckt werden, und zwar 26 Buchstaben, 10 Ziffern und 12 Sonderzeichen. Die horizontale Druckstellendichte beträgt 10 Zeichen pro Zoll, die vertikale Zeilendichte 6 oder 8 Zeichen pro Zoll. Die Gültigkeit der zu druckenden Daten wird bei der Übertragung zum Drucker geprüft.

Die IBM 1403 arbeitet mit zwei Vorschubgeschwindigkeiten: 33 Zoll pro Sekunde bis zur 8. Zeile eines Vorschubs, danach 75 Zoll pro Sekunde. Es sind 12 Vorschubkanäle vorhanden. Die Vorschubbewegungen werden über das Programm gesteuert.

Wenn die Anlage mit den numerischen Schnelldruck-Einrichtung ausgerüstet ist, können bis zu 1285 Zeilen pro Minute gedruckt werden. Eine Halterung für auswechselbare Kettenführung gestattet die Verwendung von mehreren Typenketten mit verschiedenen Typenarten.

Das IBM 1410 Bandsystem

Die drei grundlegenden Systembestandteile (IBM 1411, IBM 1414, IBM 1415) oder ein 1410 Kartensystem kann man durch Anschließen entsprechender Einheiten zu

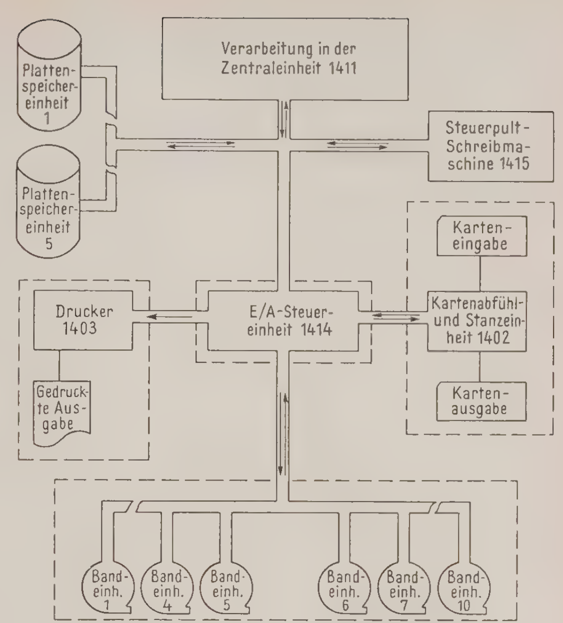


Bild 2. Allgemeiner Datenfluß im IBM 1410 Ramac-System.

einem IBM 1410 Bandsystem erweitern. Bis zu 10 IBM 729 II, IBM 729 IV oder IBM 7330 Magnetbandeinheiten können an einen Datenübertragungskanal des Systems angeschlossen werden. Das System ist standardmäßig mit einem Kanal ausgestattet, ein zweiter Kanal kann als Zusatzeinrichtung hinzugenommen werden, so daß insgesamt bis zu 20 Bandeinheiten an das System anschließbar sind. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit ist der Hauptunterschied zwischen den IBM 729 und IBM 7330 Bandeinheiten. Die nachstehende Übersicht zeigt einen Vergleich der wichtigsten Arbeitsmerkmale der drei Bandeinheiten, die zum Einsatz beim IBM 1410 Datenverarbeitungssystem zur Verfügung stehen.

Arbeitsmerkmale	729/II	729/IV	7330
Zeichendichte, Zeichen/cm	80 oder 220	80 oder 220	80 oder 220
Bandgeschwindigkeit, cm/s	190	285	90
Satzzwischenraum, cm	2	2	2
Start/Stop-Zeit, ms	10,8	7,3	Abh. v. d. Zahl d. übertr. Zeichen
Zeichengeschwindigkeit, Zeichen/s	15 000 oder 41 667	22 500 oder 62 500	7200 oder 20 016
Schnelles Rückspulen in min.	1,2	0,9	2,2
Normales Rückspulen, cm/s	190	285	90

Arbeitsmerkmale der Bandeinheit des IBM 1410 Datenverarbeitungssystems

Das Beschriften und Lesen des Bandes kann überlappt durchgeführt werden, so daß das Programm nur für die Dauer der reinen Lese- und Schreibzeit unterbrochen wird. Eine Gültigkeits- und Impulsstärkeprüfung verleihen den Bandoperationen hohe Zuverlässigkeit.

Die IBM RAMAC 1410

Die drei Hauptkomponenten des IBM 1410 Systems (IBM 1411, IBM 1414, IBM 1415), ein IBM 1410 Kartensystem oder ein IBM 1410 Bandsystem können durch den Anschluß der Magnetplattenspeicher IBM 1405 oder IBM 1301 zu einer IBM RAMAC 1410 erweitert werden. Durch die Magnetplattenspeicher vereinigen sich die

rechnerischen Fähigkeiten des IBM 1410 Datenverarbeitungssystem mit den Vorteilen des sofortigen Zugriffs zu Großraumspeichern. Die Zentraleinheit hat direkten Zugriff zu jedem Satz in der Plattenspeichereinheit. In weniger als 1 Sekunde sucht die Maschine einen Satz, bringt ihn auf den neuesten Stand und gibt den geänderten Satz an die Zentraleinheit zurück. Während der Zugriffsmechanismus nach einem Satz sucht, kann die Verarbeitung im Kernspeicher weiterlaufen.

Die wesentlichen Arbeitsmerkmale beider Einheiten sind wie folgt:

IBM 1405

Modell 1:

Speicherkapazität 10000000 alphanumerische Zeichen auf 25 Platten, 200 Spuren pro Platte, jede Spur enthält 10 Sätze mit je 200 Speicherstellen.

Modell 2:

Speicherkapazität 20000000 alphanumerische Zeichen auf 50 Platten, 200 Spuren pro Platte, jede Spur enthält 10 Sätze mit je 200 fixierten Speicherstellen. Jedem Satz steht eine feststehende, unauslöschliche 7stellige Satzadresse voran. Ein Zugriffsarm je Einheit ist standardmäßig vorhanden, zwei weitere können als Zusatzeinrichtung eingebaut werden (maximal 12 Zugriffsarme möglich).

Es können bis zu 5 Plattenspeichereinheiten angeschlossen werden, so daß sich eine maximale Speicherkapazität von 100000000 Stellen ergibt.

Die Zugriffszeit variiert zwischen mindestens 100 ms und höchstens 800 ms. Daten werden mit einer Geschwindigkeit von 22500 Zeichen pro Sekunde gelesen oder geschrieben.

IBM 1301

Modell 1:

Speicherkapazität 25000000 alphanumerische Zeichen auf 40 Plattenflächen, 250 Spuren je Plattenfläche mit 2500 Zeichen pro Spur.

Modell 2:

Speicherkapazität 50000000 alphanumerische Zeichen auf 80 Plattenflächen, 250 Spuren je Plattenfläche mit 2500 Zeichen pro Spur.

Jede Gruppe der 40 Plattenflächen hat einen kammförmigen Zugriffsmechanismus, jede Plattenfläche hat ihren eigenen Lese/Schreibkopf.

Es können bis zu 5 Plattenspeichereinheiten mit einer maximalen Speicherkapazität von 250000000 Stellen angeschlossen werden.

Maximale Zugriffsgeschwindigkeit 180ms Da jede Module (Plattengruppe mit je 25 000 000 Speicherstellen) mit einem eigenen kammförmigen Zugriffsarm ausgerüstet ist, kann der Zugriff für je 100000 Zeichen in jeder Module ohne zusätzliche Bewegungszeit des Zugriffsmechanismus erfolgen.

Zusätzlich zu den genannten Einheiten können an das IBM 1410 System noch folgende Einheiten angeschlossen werden:

1011 Lochstreifenabfühler

Mit dieser Anlage werden durchgelochte und angelochte Lochstreifen mit einer Geschwindigkeit von 500 Zeichen pro Sekunde in das System eingelesen. Es können 5- und 8-Kanal-Streifen verarbeitet werden. Die Maschine nimmt sowohl Streifenspulen als auch Streifenrollen an.

1014 Getrennte Abfrageeinheit

Es können bis zu 20 vom System getrennt stehende Abfrageeinheiten angeschlossen werden. Die Entfernung kann maximal 12 km betragen. Die Verbindung erfolgt über Telefonkabel. Mit der Abfrageeinheit erfolgen Eingaben mit einer Tastatur und geschriebene Ausgaben unter der Steuerung des Programms. Die Arbeitsgeschwindigkeit beträgt 15 Zeichen pro Sekunde.

Weiterhin sind je eine Einheit für „Tele-Processing" (Datenfernverarbeitung) und ein Klarschriftleser (gedruckte Daten werden optisch in das System eingelesen) vorgesehen.

Verarbeitung

Zeichenverschlüsselung

Die vom IBM 1410 Datenverarbeitungssystem verwendete Verschlüsselung geschieht im Binär-Dezimalcode (BCD). In diesem Code werden alle Daten und Instruktionen in entsprechenden Bit-Kombinationen gespeichert. Das Übertragen von Informationen in dem BCD-Code zur internen Verarbeitung und die folgende Rückverschlüsselung geschieht vollkommen automatisch.

Prüfeinrichtungen

Die besonderen Prüfeinrichtungen des IBM 1410 Datenverarbeitungssystems (Bitzahlprüfung, Gültigkeitsprüfung, Lochzahlprüfung, Überlaufprüfung, Vorzeichenprüfung usw.) gewährleisten Zuverlässigkeit und Genauigkeit. Sowohl die Datenverarbeitung in der Zentraleinheit als auch die Arbeitsschritte der Eingabe/Ausgabemaschinen werden selbsttätig überprüft.

Adressierung

Der Kernspeicher der 1410 dient der Speicherung des Programms sowie der Ein- und Ausgabedaten. Jede Kernspeicherstelle ist adressierbar und hat ihre eigene 5stellige Adresse. Wenn in einer Instruktion eine ungültige Adresse angegeben ist, stoppt die Maschine, und ein Adressenfehler wird angezeigt.

Adreßregister

Die IBM 1410 hat verschiedene Adreßregister, von denen die wichtigsten im folgenden genannt sind:

1. Das Instruktions-Adreßregister enthält den Speicherplatz des ersten Zeichens der nächsten Instruktion; es ist ein 5-Zeilen-Register.
2. Das A-Adreßregister enthält gewöhnlich die Speicheradresse des A-Feldes einer Instruktion und ist ebenfalls ein 5-Zeichen-Register.
3. Das B-Adreßregister enthält gewöhnlich die Speicheradresse des B-Feldes einer Instruktion und ist ebenfalls ein 5-Zeichen-Register.
4. Das Operationsregister speichert den Operationsschlüssel einer Instruktion für die Dauer der Operation und ist ein 1-Zeichen-Register.
5. X-Kontrollregister. Diese drei Register nehmen jeweils die Hunderter-, Zehner- und Einerstelle des X-Kontrollfeldes auf, das eine Eingabe/Ausgabeeinheit angibt. Die Hunderterstelle kennzeichnet den Datenübertragungskanal (Eingabe/Ausgabekanal-Auswahlregister). Zugleich kann durch diese Stelle angezeigt werden, daß die Operation mit Hilfe der Zusatzeinrichtung „Programmüberlappung" durchgeführt werden soll. Die Zehnerstelle kennzeichnet die betreffende Eingabe/Ausgabeeinheit (Einheit-Auswahlregister). Die Einerstelle kennzeichnet die Nummer einer Einheit, wie z. B. Bandeinheit 2 (Einheit-Nummernregister).

Wortmarken und variable Wortlänge

Die IBM 1410 speichert Programminstruktionen und Daten mit variabler Wortlänge. Der Vorteil der variablen Wortlänge liegt darin, daß eine Information nur die Kernspeicherstellen belegt, die sie ihrer Länge nach benötigt, im Gegensatz zu festunterteilten Kernspeichern. Die Begrenzung der Wortfelder geschieht durch Wortmarken (Sonder-Bit).

Programmsteuerung

Die IBM 1410 verwendet speicherprogrammierte Instruktionen zum Steuern der Maschinenarbeiten. Diese Instruktionen veranlassen die Durchführung aller Band-, RAMAC-, Rechen-, Eingabe/Ausgabe- und allgemeinen Datenoperationen sowie aller logischen Entscheidungen. Die tatsächlich durchzuführende Operation wird durch die Einteilung und den Inhalt der Instruktion bestimmt.

Die grundlegende Instruktionseinteilung für die IBM 1410 besteht aus vier Teilen: dem Operationsschlüssel, der A- oder I-Adresse (fünf Zeichen) der B-Adresse (fünf Zeichen) und einer Operationsergänzung. Wegen der variablen Instruktionslänge kann eine gültige Instruktion aus einem bis zu zwölf Zeichen bestehen. Ein Instruktionswort kann außerdem ein X-Kontrollfeld (drei Zeichen) enthalten, das eine Eingabe/Ausgabeeinheit kennzeichnet.

Op-Schl.	A- oder I-Adresse	B-Adresse	Op-Ergänzung
X	XXXXX (X-Kontrollfeld XXX)	XXXXX	X

Instruktionseinteilung für die IBM 1410

Alle Operationen des Systems werden durch Instruktionen in echter Maschinensprache gesteuert. Bei der Programmierung können jedoch symbolische Programmierungsmethoden (z. B. Basic Autocoder System für die IBM 1410) ver-

wendet werden, wodurch die Programmierung wesentlich vereinfacht und erleichtert wird.

Sind bei angrenzenden Feldern eine gleiche Folge von Operationen durchzuführen, können die einzelnen Instruktionen durch ein platz- und zeitsparendes Verkettungsverfahren zusammengefaßt werden. Die wesentlichen Operationen, die mit dem flexiblen Programmierungssystem der IBM 1410 durchgeführt werden, sind im folgenden aufgeführt.

Arithmetische Operationen

Alle vier Grundrechenarten (Addieren, Subtrahieren, Multiplizieren und Dividieren) werden innerhalb des Kernspeichers ohne Verwendung von Akkumulatoren oder Zählern automatisch durchgeführt. Bei Rechenoperationen besteht also keinerlei Stellenbegrenzung.

Indexieren

Das IBM 1410 Datenverarbeitungssystem besitzt 15 Indexregister zur Abänderung der A-, I- oder B-Adreßregister der meisten Instruktionen. Jedem Indexregister sind fünf Speicherstellen für den Indexfaktor zugeordnet. Wenn man die Speicherstellen der Indexregister nicht zum Indexieren verwendet, können sie normal zur Speicherung von Daten und Instruktionen eingesetzt werden.

Logische Operationen

Logische Operationen ermöglichen es der IBM 1410, Entscheidungen zu treffen. Je nach den vorliegenden Bedingungen kann das Programm sich selbst steuern und zu einer festgesetzten Reihe von Instruktionen oder Unterprogrammen verzweigen. Diese Entscheidungen, auf Grund bestimmter Prüfungen zu verzweigen oder nicht zu verzweigen, nennt man die Logik des IBM 1410 Datenverarbeitungssystems. Die Vielzahl der logischen Entscheidungsmöglichkeiten trägt wesentlich zur Flexibilität der IBM 1410 Programmierung bei.

Allgemeine Datenoperationen

Zu diesen Operationen innerhalb des Kernspeichers gehören Übertragungen, Vergleichen, Tabellenlesen und Aufbereiten zum Drucken.

Datenübertragungen

Dazu gehören Übertragungen der Daten von einem Speicherbereich zum anderen und das Durchprüfen des Speichers auf Wortmarken, Satzzeichen, oder Gruppenmarken mit Wortmarken. Daten können feld- oder satzweise übertragen werden.

Es gibt zwei Arten dieser Operationen: Übertragungsinstruktionen und Prüfinstruktionen (Scan-Instruktionen). Insgesamt sind 64 solcher Übertragungs- und Prüfinstruktionen möglich, wobei durch eine sinnvolle symbolische Verschlüsselung des Operationsschlüssels sehr leicht jede einzelne dieser Instruktionen vom Programmierer gebildet werden kann. Die große Zahl dieser Instruktionen sind ein weiterer Beweis für die Programmflexibilität der IBM 1410.

Vergleichen

Die IBM 1410 vergleicht die Bit-Kombination jedes Zeichens des B-Feldes mit den entsprechenden Bit-Kombinationen im A-Feld. Das Ergebnis dieser Vergleichsoperationen gibt an, ob das B-Feld gleich, größer oder kleiner als das A-Feld ist. Die durch das Vergleichsergebnis entstandene Bedingung kann durch eine Verzweigungsoperation geprüft werden.

Aufbereiten zum Drucken

Unter ,,Aufbereiten zum Drucken" versteht man bei der IBM 1410 das automatisch gesteuerte Unterdrücken von Nullen, Einfügen von Kennzeichnungssymbolen, Kommas und Dezimalpunkten in einen Ausgabebereich. Eine einzige Instruktion ,,Aufbereiten zum Drucken" bewirkt, daß alle benötigten Kommas, Punkte, Dollarzeichen, Sterne, CR-Zeichen und Minuszeichen automatisch in ein numerisches Feld eingefügt werden. Zusätzlich können Nullen links von geltenden Ziffern unterdrückt werden.

Tabellenlesen

Unter Tabellenlesen versteht man das Durchsuchen einer Tabelle nach bestimmten Werten wie Tarifen, mathematischen Faktoren und anderen Informationen, die entsprechend den Anforderungen der Eingabedaten variieren können. Die IBM 1410 hat eine Operation für das automatische Lesen von Tabellen und Finden der Funktion (gesuchter Tabellenwert oder Adresse des Tabellenwertes). Der Umfang einer Tabelle wird nur durch die Speicherkapazität des Systems begrenzt.

IBM 1401 — Kompatibilität

Infolge der Gleichartigkeit, die zwischen der IBM 1401 und der IBM 1410 besteht, bietet die IBM 1400-Serie verschiedene Vorteile. So kann mit einem Minimum an Entwicklungskosten vom IBM 1401 System auf das IBM 1410 System übergegangen werden. Eine vollständige Umschulung der Programmierer und Bediener erübrigt sich, da die Grundbegriffe bei beiden Systemen die gleichen sind. Nur die zusätzlichen Einrichtungen der IBM 1410 sind kennenzulernen. Ein Großteil der IBM 1401 Programme kann auch bei der IBM 1410 verwendet werden. Ein anderer Teil der Programme muß im Hinblick auf die Systemzusammenstellungen und die zusätzlichen Einrichtungen der IBM 1410 geringfügig geändert werden.

Anwendung

Die IBM 1410 ist ein modernes Datenverarbeitungssystem, das auf Grund seines gegliederten Aufbaues eine Reihe von Systemkombinationen zuläßt. Infolge dieser Flexibilität und seiner Leistungsfähigkeit kann das System den Erfordernissen fast aller Anwendungsgebiete gerecht werden.

Druckfehlerberichtigung

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), Heft 3 brachte auf den Seiten 123—129 einen Beitrag von *J. Weinmiller*, Konstanz, zum Thema ,,Hilfsmittel zur Vereinfachung von Schaltfunktionen". Der Verfasser bittet um folgende Berichtigungen:

Die Bildunterschrift zu **Bild 1** muß richtig heißen:
Diodennetzwerk für $y = a\bar{b} + c + \bar{a}\bar{c}d + b\bar{c}d$.

Seite 125 linke Spalte 11. Zeile:
Am Zeilenende fehlt nach *abcd* ein Haken.

Seite 125 linke Spalte 12. Zeile:
Am Zeilenende: $\bar{b}c\bar{d}$˘ statt $\bar{b}cd$.

Die Bildunterschrift zu **Bild 5a** muß richtig heißen:
$y = ad + \bar{b}cd + bc\bar{d}$.

Bild 6 und **Bild 7**:

Die Buchstaben zur Kennzeichnung der Rechtecke sind zu vertauschen (*a* gegen *b* und *c* gegen *d*).

Seite 128 rechte Spalte, Zeile 29:
Statt $\bar{a}\bar{b} = \bar{a} + \bar{b}$ muß es heißen $\overline{ab} = \bar{a} + \bar{b}$.

Zeile 44:
Statt $y = \bar{a}b + \bar{b}\bar{c}$ muß es heißen $y = \overline{\bar{a}b + \bar{b}\bar{c}}$.

Buchbesprechungen

Bernhard Hartmann, Betriebswirtschaftliche Grundlagen der automatisierten Datenverarbeitung, Rudolf Haufe Verlag, Freiburg i. Br., 1961, 49,80 DM.

Das Buch stellt eine Einführung in die automatische Datenverarbeitung mit konventionellen Lochkartenanlagen und elektronischen Rechenanlagen dar. Es bringt viele ausführlich beschriebene praktische Beispiele von Vorarbeiten in der Lochkartenabteilung und von Abläufen sogenannter herkömmlicher Aufgaben. Allgemeinen Ausführungen, u. a. über die Wirtschaftlichkeit der Datenverarbeitung, und einer Übersicht über die Merkmale der im Herbst 1960 auf dem Markt angebotenen elektronischen Anlagen folgt der breite, den Beispielen aus verschiedenen Branchen gewidmete Teil, wobei versucht wurde, das jeweils Typische herauszustellen.

Der Autor beschreibt in den Kapiteln Banken und Versicherungen Aufgaben der Abrechnung aus den wichtigsten Sparten, während er sich bei den Industriebetrieben auf einzelne Sachgebiete und bei den Handelsbetrieben auf Betriebstypen beschränkt. Er beschreibt beim Handel die Verkaufsabrechnung, Lagerbestandsführung, Debitorenbuchhaltung und Rechnungsschreibung, während für Marktbeobachtung, Absatzprognose, Versandplanung — um nur einige interessante betriebswirtschaftliche Aufgaben zu nennen — leider keine Beispiele vorlagen.

Im Bereich der Industriebetriebe bringt das Buch Beispiele aus der Verkaufsabrechnung und der Fertigungsplanung einschließlich des Terminwesens. Diese Beschränkung zwang dazu, andere grundlegende betriebswirtschaftliche Probleme, wie Betriebsabrechnung, Kalkulation, Investitionsplanung und -rechnung uws., außer acht zu lassen.— Für die Fertigungsplanung werden zur Erläuterung Modellfälle mit den Anlagen IBM 305 und 650 (Teilebedarfs- und -bestandsrechnung), ICT 1201 (vollmaschinelle Lösung der mittel- und kurzfristigen Fertigungsplanung, gemeinsam mit der Fertigungssteuerung und -kontrolle) und RR Univac File Computer (Automobilindustrie) herangezogen.

Es wäre begrüßt worden, wenn der Autor über eine einfache Kapazitätsbelegungs- und Materialplanung hinaus die Optimalisierungsrechnungen erläutert hätte, da diese gerade für Fertigung und Transport zu den grundlegenden betriebswirtschaftlichen Problemen der automatischen Datenverarbeitung gehören. Auf die Anforderungen an eine „Totalplanung", die die Fertigung plant, steuert und überwacht, wurde hingewiesen, und zwar im Rahmen einer Mengen- und Zeitrechnung. Die Einbeziehung einer Wertrechnung, die sich auf Kosten und Leistungen (und Aufwand und Ertrag) innerhalb der Fertigungsplanung bezieht, in die „betriebswirtschaftlichen Grundlagen" wäre interessant gewesen, obwohl (und weil) dafür noch keine praktischen Beispiele vorliegen. *Weide*

N. R. Scott: Analog and digital computer technology. McGraw-Hill, New York, 1960, 522 S. 99 s.

Der Autor gibt dem Buch im Vorwort den genaueren Titel „Einführung in die Anwendungen und Technik der elektronischen Gleichstromanalogrechner und Digitalrechner". Wenn man dem Wort Einführung noch das Attribut „für Elektroingenieure" hinzufügt, so ist das Buch nahezu vollständig charakterisiert. Sein Zweck ist es, Elektroingenieuren, die nicht auf dem Gebiet der elektronischen Rechenanlagen arbeiten, gewisse Kenntnisse und Eindrücke zu vermitteln. Das Hauptgewicht liegt denn auch auf der Beschreibung des Rechners als Gerät, den Anwendungsmöglichkeiten und Methoden und schließlich dem technischen Aufbau. Die ersten vier Kapitel sind den Analogrechnern gewidmet, die folgenden sieben den Digitalrechnern, wobei besonderer Wert auf Zahlensysteme, Codes, Logik, Schaltkreise, Schaltwerke und Speichermethoden gelegt ist. Es ist ganz bewußt auf die Beschrei-

Sind Sie auch ein C. V.?

Seit Jahren zerbrechen sich die Behörden den Kopf, wie man die Fähigkeiten eines Gehirns — etwa im Hinblick auf die besonders schwierige Aufgabe, ein Fahrzeug zu lenken — „erfassen" kann. Über die Methode einer derartigen Erfassung ist man sich zwar seit Erfindung des Fragebogens ziemlich einig, aber leider erfordert nicht nur das Ausfüllen eines Fragebogens Intelligenz, sondern auch die Aufstellung desselben — und das führt oft zu seltsamen Verirrungen. So las man kürzlich in der Zeitung von einem Fahrer, der nach dreißig unfallfreien Jahren in eine andere Fahrzeugklasse hinüberwechseln wollte. In dem auszufüllenden Fragebogen gab es für jede Frage ein Ja-Kästchen und ein Nein-Kästchen, und er hatte nur das jeweils richtige anzukreuzen. „Dürfen Sie bei einer durch Lichtsignale geregelten Kreuzung bei Rot nach rechts abbiegen, wenn kein Querverkehr herrscht?" Darf man nicht, dachte er und setzte sein Kreuz in das Nein-Kästchen. Aber dann kam's: „Bei einer Campingfahrt wird durch Personen, Gepäck und Ausrüstung das zulässige Gesamtgewicht überschritten. Bestehen Bedenken gegen diese Gewichtsüberschreitung?" Er fühlte irgendwo im Unbewußten, daß die Überschreitung gefährlich war, schließlich hatte er dreißig Jahre Praxis, aber er wurde aus der Art der Fragestellung nicht klug. Die Campingfahrt irritierte ihn, und die Bedenken irritierten ihn, und er machte schließlich sein Kreuz in das Nein-Kästchen, und das war leider falsch. Wer hatte nun hier versagt: der arme Prüfling oder der anonyme Fragesteller?

Kurz, es bestehen also Bedenken gegen die angewendete Methode. Selbst in einem so simplen Fall. Komplexe Fähigkeiten lassen sich eben nur vage durch schematische Fragen erfassen, und wer Intelligenz durch Ja-Nein-Entscheidungen einkreisen will, setzt bei anderen voraus, was er selbst nicht hat.

Andererseits kommt man um die Aufgabe, Intelligenzen zu prüfen und miteinander zu vergleichen, nicht herum. Vielleicht sollten die Behörden besser die Finger davon lassen, das ist wahr, aber viele Leute sind beruflich dazu angehalten: Lehrer zum Beispiel, oder Gerichtsmediziner. Ein Beruf aber, es gibt ihn noch nicht lange, rangiert hier vor allen andern, was den Grad an Schwierigkeit angeht, Intelligenzen zu vergleichen. Es handelt sich um den C.V., den *Computer-Vergleicher* — also um die Aufgabe, Rechenanlagen auf ihre Intelligenz und Einsatzmöglichkeiten hin zu prüfen, Vergleiche anzustellen und Urteile abzugeben. Diese Tätigkeit ist bei weitem schwieriger als die eines Lehrers, der mit seinem Kandidaten, wenn gar nichts hilft, in scherzhafte Unterhaltung treten kann, um ihm zur Aussage zu verhelfen. Außerdem hat der Herr Lehrer kein finanzielles Risiko zu tragen, und schließlich hat er zumeist das, was er prüft, früher mal gelernt. Wie anders sieht es demgegenüber beim Computer-Vergleicher aus!

Betrachten wir zwei Beispiele, um die Rechte und Pflichten dieses gefährlichen Berufes zu untersuchen (da Schreiben ebenfalls ein gefährlicher Beruf ist, sei hier eingefügt, daß alle etwaigen Ähnlichkeiten mit lebenden oder toten Personen bzw. Firmen auf Zufall beruhen).

Fall I: Der C.V. in einer Bank (zu deutsch: Kreditinstitut). Er hat, nehmen wir an, Prokura, gesicherte Lebensstellung, übersieht das gesamte Bankwesen von Kontokorrent bis

bung neuer elektronischer Bauelemente und Zubehörgeräte verzichtet. Es ging dem Autor vielmehr um eine Darstellung der Grundprinzipien dieser beiden Rechnertypen. Da sich an diesen Grundprinzipien wahrscheinlich in absehbarer Zeit nichts ändern wird, wird das Buch auch noch in einigen Jahren seinen Zweck erfüllen, eben eine Einführung zu sein. Ausführliche Literaturverzeichnisse am Ende eines jeden Kapitels erleichtern es, sich in spezielle Gebiete zu vertiefen. Es handelt sich zweifellos um ein angenehm lesbares, nützliches Buch, das seinem Ziel völlig gerecht wird. *R. Herschel*

Churchmann, Ackoff, Arnoff. Operations Research (Eine Einführung in die Unternehmensforschung). R. Oldenbourg Verlag, München u. Wien, 1961, 580 Seiten, Preis Lw. 52,— DM.

Dieses Buch, das im amerikanischen Original 1957 herauskam, war wohl die erste zusammenfassende Darstellung des Gebietes der Operations-Forschung. Trotz der zahlreichen seitdem erschienenen Einzelarbeiten und Bücher auf diesem Gebiet nimmt es nach wie vor eine Sonderstellung durch die Frische der Darstellung ein, die es durch die Sicherheit der Verfasser bekommen hat, hier dasjenige zusammenzufassen, was der Praxis in der Industrie wirklich notwendig ist. Gerade weil die Neigung zum Theoretisieren bei der Operations-Forschung oftmals gar zu weit geht und damit den Nutzen dieser Methoden leicht illusorisch machen kann, kann man garnicht genug auf die ersten drei Kapitel dieses Buches hinweisen. Es ist daher sehr erfreulich, daß nunmehr auch dem deutschsprachigen Leserkreis dies Standardwerk in einer sehr guten Übersetzung (Dr. E. Schlecht und Dr. F. Ferschl) vorgelegt wird. Was man kritisieren könnte, ist der Titel, wo man — wohl aus dem Gefühl, daß für die schon unglückliche englische Bezeichnung ,,Operations Research" die deutsche Wortbildung ,,Unternehmensforschung" noch unglücklicher ist — einfach das ursprüngliche ,,Operations Research" beibehalten hat. In den ersten drei Kapiteln werden die Aufgabe der Operations-Forschung, der Modell-Begriff und die Methoden der Struktur-Analyse eines Systems erläutert und dann schließlich Hinweise zur Ermittlung der Güte-Kriterien gegeben. Gerade bei der Bewertung der Ziele und ihrer Erfassung durch Güte-Kriterien wird deutlich, daß es für den Operationsforscher nicht mit der Beherrschung der mathematischen Kalküle getan ist, sondern daß er sich bei Anwendungen in der industriellen Wirtschaft sehr gründlich in die wirtschaftlichen Fragestellungen eines Unternehmens hineindenken muß. An großen Einzelgebieten werden behandelt: Lagerhaltung, Linear-Planung, Warteschlangen-Probleme, Zeit- und Ablauf-Planung für Maschinen-Belegung, Konkurrenz-Probleme und Spiel-Theorie. *H. Kaufmann*

Automatik-Katalog 1960. Herausgegeben in Zusammenarbeit mit Prof. Dipl.-Ing. Ed. Gerecke, ETH Zürich, Präsident der INTERKAMA 1960 und Prof. Dr. O. Schäfer, Institut für Regelungstechnik, Aachen. Verlag Max Binkert GmbH, Frankfurt a. M., Laufenburg, Zürich, 322 Seiten, 9,50 DM.

Das Heft enthält im ersten Teil eine größere Anzahl von Aufsätzen über das Gebiet der Meß-, Regelungs- und Automatisierungstechnik. Die Aufsätze sind von bekannten Fachleuten geschrieben und geben in durchweg allgemeinverständlicher Weise z. T. Überblicke über Teilbereiche, z. T. behandeln sie neue Verfahren oder berichten über ausgeführte Anlagen. Die Gerätebeschreibungen im zweiten Teil behandeln in 4 Kapiteln Bauelemente der Regelungsautomatik, Meß- und Registriergeräte, Regler und Apparate der automatischen Regelung und geregelte und automatisierte Anlagen. Je ein nach Firmen und nach Geräten gegliedertes Verzeichnis ergänzen das empfehlenswerte Heft, das einen sehr wertvollen Überblick insbesondere über den apparatetechnischen Bereich der Automatisierungstechnik gibt.

Wertpapiergeschäft, genießt Ansehen und Vertrauen der Direktion und wird infolge daher beauftragt, die Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung zu prüfen. Mehr noch: den Einsatz einer solchen Anlage zu planen. Was tut der Mann? Er verwandelt sich flugs in einen C.V., der Prospekte sammelt, Ausstellungen und Kongresse besucht, Zeitschriften und sogar Bücher liest und alsbald mehr von Speicherkapazitäten, Simultanverarbeitung und Zugriffszeiten redet als von Börsenkursen und Valuta. Das geht so ein, zwei Jahre, er legt sich mächtig ins Zeug, aber dann kommt er immer näher, der schreckliche Augenblick der Entscheidung: Welche Rechenanlage ist hinsichtlich Preis, Lieferzeit, Kapazität, Verarbeitungsgeschwindigkeit und Problemorientierung die am besten geeignete? Zwanzig Maschinen stehen zur Auswahl — eine immer schöner und schneller und geeigneter als die andere. Soll er auf Trommeln oder auf Scheiben speichern? Oder auf dünnen Schichten? Oder soll er auf die Cryotrons warten? Darf er 40 Millisekunden Speicher-Zykluszeit zulassen, oder wirkt sich diese Konstante schlecht auf die Debitorenkonten aus? Welche Konstanten sind überhaupt maßgebend: Die Länge der Befehlsliste? Die Multiplikationszeit? Die Speicherkapazität? Ist ein Rechner, an den man 70 Bandeinheiten anschließen kann, besser als einer, der nur 20 Einheiten zuläßt? Soll man kaufen oder mieten? Ist Gleitkomma günstiger als Festkomma, oder braucht man beides? Ist COBOL gut für den Wertpapierhandel? Sollte man vielleicht . . . Oder sollte man doch lieber . . .?

Man sehe sich um (und das tut unser Mann gewißlich schon seit langem), wie es mit der Datenverarbeitung im Bankwesen bestellt ist: es gibt darüber verschiedene Meinungen. Aber selbst dort, wo ein gewisser Grad von Automatisierung eingeführt wurde, hält man mit der Bekanntgabe von Resultaten aus guten Gründen an sich.

Fall II: Der C.V. in einer Verkehrsgesellschaft. Gleichgültig, ob eine solche Gesellschaft ihren Verkehr zu Wasser, zu Lande oder in der Luft betreibt — Automatisierung ist auch hier am Platze, weshalb derartige Unternehmungen heutzutage kaum noch ohne einen C.V. auskommen Was tut nun dieser Mann? Er sammelt Prospekte, sieht und hört sich um, besucht Kongresse und . . . siehe oben. Auch er hat die Wahl zwischen sechs oder acht Herstellerfirmen bzw. 15 oder 20 verschiedenen Modellen von Datenverarbeitungsanlagen, und er führt, wenn er Systematiker ist, eine Liste, in die er alle erreichbaren Daten säuberlich überträgt: Kapazität, Zugriffszeit, Art der verwendeten Bauelemente, Preise, Lieferzeiten und so weiter. Auch dieser glaubt also — ganz wie die eingangs erwähnte Behörde — Intelligenz ließe sich vermittels Fragebogens in ein Schema bringen. Und auch dieser Mann ist also auf dem Holzweg.

Schuld ist, wie jeder C.V. bestätigt, niemand anders als die Industrie: Statt in einer Art von Pilot-Anlage zu zeigen, wie der Computer sowieso mit der Bankbuchhaltung fertig wird, erfindet sie Schlagwörter wie ,,automatische Gleitkommaarithmetik" oder ,,Substitutionsadressenmodifikation". Statt für jede Maschine ein Buch zu drucken, in dem geschrieben steht, was die Maschine kann und nicht kann, druckt sie Prospekte mit abenteuerlichen Zahlen und unglaublichen Versprechungen, die wie Reiseprospekte die schönsten Aussichten in Kunstdruck liefern.

C.V. zu sein ist wirklich eine harte Sache. Und es gibt bis heute keinen Verband, an den man sich in dieser Angelegenheit wenden könnte: wer sollte den wohl gründen? Obwohl es eine nützliche Idee wäre . . . *D. Kroneberg*

DIE BEITRÄGE DIESES HEFTES WURDEN GESCHRIEBEN VON

Dr. sc. techn. *Ambros P. Speiser*, geb. 1922 in Basel. Diplom an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH). 1949 Studium an der Harvard University und am Institute for Advanced Study, Princeton. 1950 Promotion an der ETH, anschließend technische Leitung des Baus der ERMETH am Institut von Prof. E. Stiefel. Seit 1952 Privatdozent an der ETH. 1955 Übernahme der Leitung des IBM Forschungslaboratoriums Zürich. Senior Member, IRE; Vizepräsident der Schweizerischen Gesellschaft für Automatik; Sekretär-Kassier der International Federation of Information Processing Societies (IFIPS).





Herbert Aulhorn (46). Bis 1939 Studium an der TH Dresden. Seit 1949 bei der Firma Standard Elektrik Lorenz AG.



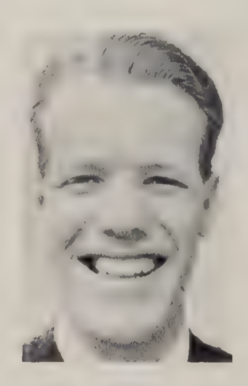
Dr.-Ing. *Hans Marko* (36). Studium der Elektrotechnik 1946—1950 an der TH Stuttgart, 1953 Promotion. Ab 1952 bei der Firma Standard Elektrik Lorenz AG in der Entwicklung tätig. Arbeitsgebiete: Systemplanung und Grundlagenentwicklung. Lehrauftrag an den Technischen Hochschulen Stuttgart und Karlsruhe. Ab 1959 Leiter des NTG-Fachausschusses 1 „Informations- und Systemtheorie".



Dipl.-Ing. *Hertwig Lange* (32). Studium der Fernmeldetechnik an der TH Braunschweig. Diplomexamen 1955. Seit 1955 im Labor für Übertragungstechnik der Standard Elektrik Lorenz AG.



Dipl.-Ing. *Peter Lucas* (26). Bis 1959 Studium an der TH Wien. Seither Mitarbeiter der Arbeitsgruppe „Mailüfterl" (Doz. Dr. H. Zemanek). Programmierungsarbeiten am Rechenautomaten „Mailüfterl". Entwurf und Ausführung eines Formelübersetzers für ALGOL 60.



Dr. rer. nat. *Ernst Feldtkeller* (29). Physikstudium 1952—1957 an der TH Stuttgart, Promotion 1959 an der Universität Göttingen, seit 1959 im Forschungslaboratorium der Siemens & Halske AG, München.

CLARE

Relais mit quecksilbergetränkten Schaltkontakten. Mehr als 10^9 Schaltungen. Völlige Prellfreiheit. Schaltfrequenzen bis 200 Hz.

CLAREED

Eingeschmolzene Kontakte. Unabhängig von der umgebenden Atmosphäre. Betätigung durch Spulen oder Permanentmagnete.

SOURIAU

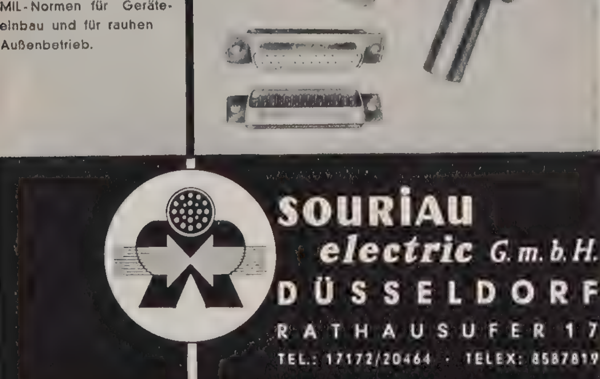
Steckerbaukasten mit 5A, 15A, 25A und 2 kV Kontaktelementen. Max. 160-polig. Vielseitig verwendbar.

IERC

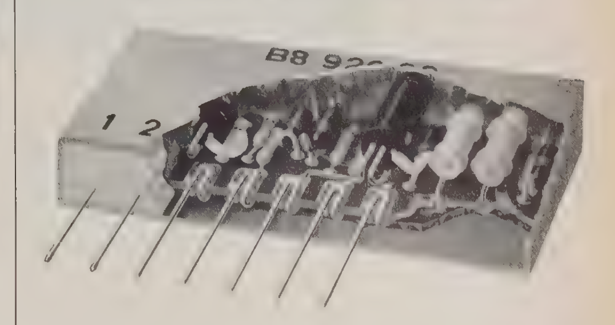
Wärmeableiter für Röhren und Transistoren. Erhöhen Lebensdauer und verbessern Wirkungsgrad.

CANNON

Vielfach-Stecker nach MIL-Normen für Geräteeinbau und für rauhen Außenbetrieb.



VALVO

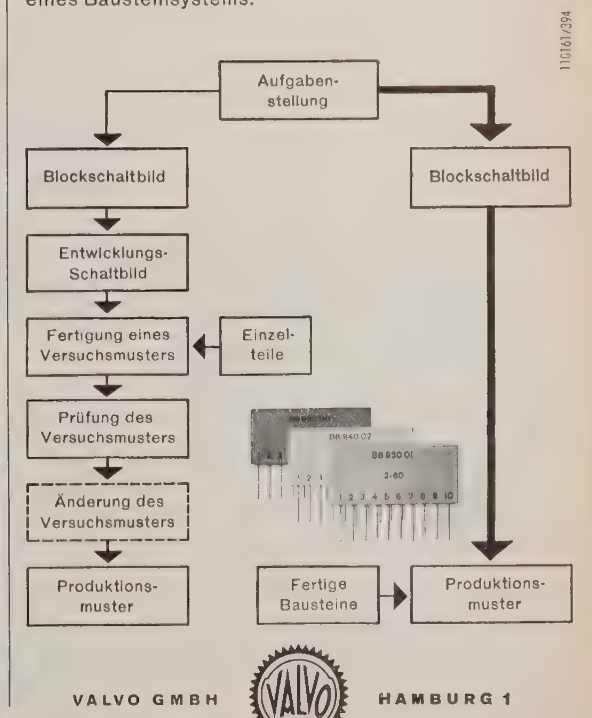


DIGITALE BAUSTEINE

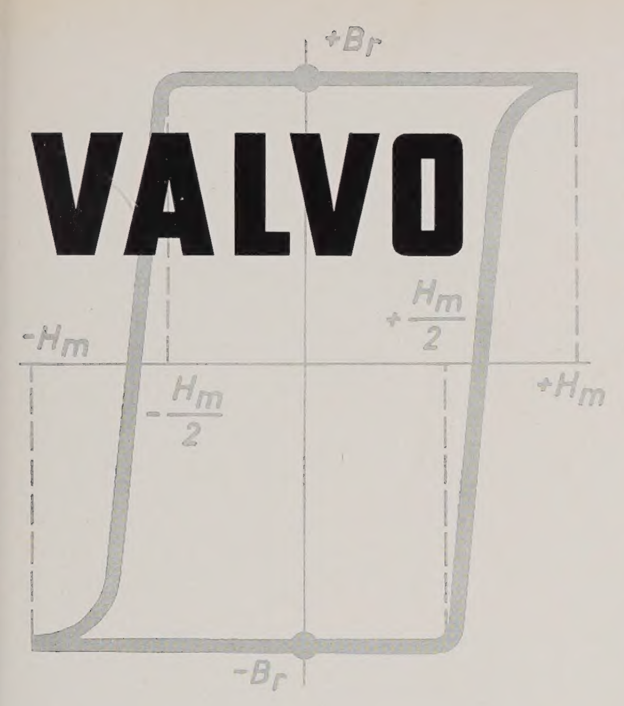
Valvo Digitale Bausteine sind in sich geschlossene kontaktlose Funktionselemente für den Aufbau elektronischer Anlagen in der Rechen-, Steuer-, Meß- und Regeltechnik. Sie erleichtern den Entwurf und die Ausführung elektronischer Schaltungen wesentlich und führen – unter Einsparung mehrerer Arbeitsgänge – vom Blockschaltbild direkt zum Produktionsmuster.

Valvo Digitale Bausteine vereinigen in sich die Betriebssicherheit und Arbeitsgeschwindigkeit kontaktloser Steuerung mit dem übersichtlichen und einfachen Aufbau eines Bausteinsystems.

11G161/394



VALVO GMBH HAMBURG 1



RINGKERNE aus FERROXCUBE 6

MIT RECHTECKFÖRMIGER HYSTERESESCHLEIFE

Die Grundbausteine
für magnetische Kernspeicher
und magnetische Schaltkreise

VALVO Schaltkerne

werden aus zwei verschiedenen Materialien 6 E und 6 D hergestellt. Sie lassen sich u. a. für logische Schaltungen, Schieberegister, Ringzähler und Treiberstufen für Kernspeicher einsetzen, wobei man die Kerne aus dem Material 6 E dort verwenden wird, wo es auf niedrige Schaltströme ankommt, während man auf die Kerne aus Ferroxcube 6 D dann zurückgreifen wird, wenn kurze Schaltzeiten erforderlich sind.

Material	Typennummer	Koerzitivkraft (Richtwert) (A/cm)	Schaltkoeffizient (μs A/cm)	Außendurchmesser (mm)
6 E	K 5 281 25	0,3	0,75	6
6 E	K 5 281 20	0,3	0,75	10
6 D	K 5 280 50	0,8	0,9	5
6 D	K 5 280 45	0,8	0,9	8
6 D	K 5 280 55	0,8	0,9	13,4
6 D	K 5 280 60	0,8	0,9	26

VALVO Speicherkerne

liefern wir in 7 verschiedenen Sorten. Neben den bisher gefertigten Typen stehen jetzt 2 neue Kerne aus den Materialien 6 C 1 und 6 F 1 mit kurzen Schaltzeiten zur Verfügung.

Material	Umschaltstrom bei 40° C (mA)	Schaltzeit (μs)	Außendurchmesser (mm)
6 E 1	310	ca. 12	3,8
6 E 2	310	≤ 8,5	3,8
6 D 5	365	≤ 1,6	1,27
6 B 1	450	≤ 2,25	1,95
6 C 1	500	≤ 1,0	1,32
6 D 3	740	≤ 1,52	1,95
6 F 1	1170	≤ 0,40	1,32

Die Speicherkerne werden einer zweimaligen strengen Prüfung unterworfen. Dabei sind die Bedingungen härter, als es der späteren Anwendung in Koinzidenzspeichern entspricht. Auf diese Weise ist ein absolut sicheres Arbeiten der Kerne in allen Schaltungen gewährleistet.

VALVO Speichermatrizen

dienen z. B. als Baueinheiten für Magnetkernspeicher. Sie können in den Größen mit 10 x 10 bis 128 x 128 Kernen geliefert werden.

Auf Anfrage erteilen wir gern weitere Auskünfte und stellen Ihnen ausführliche technische Unterlagen zur Verfügung.

VALVO GMBH HAMBURG 1

